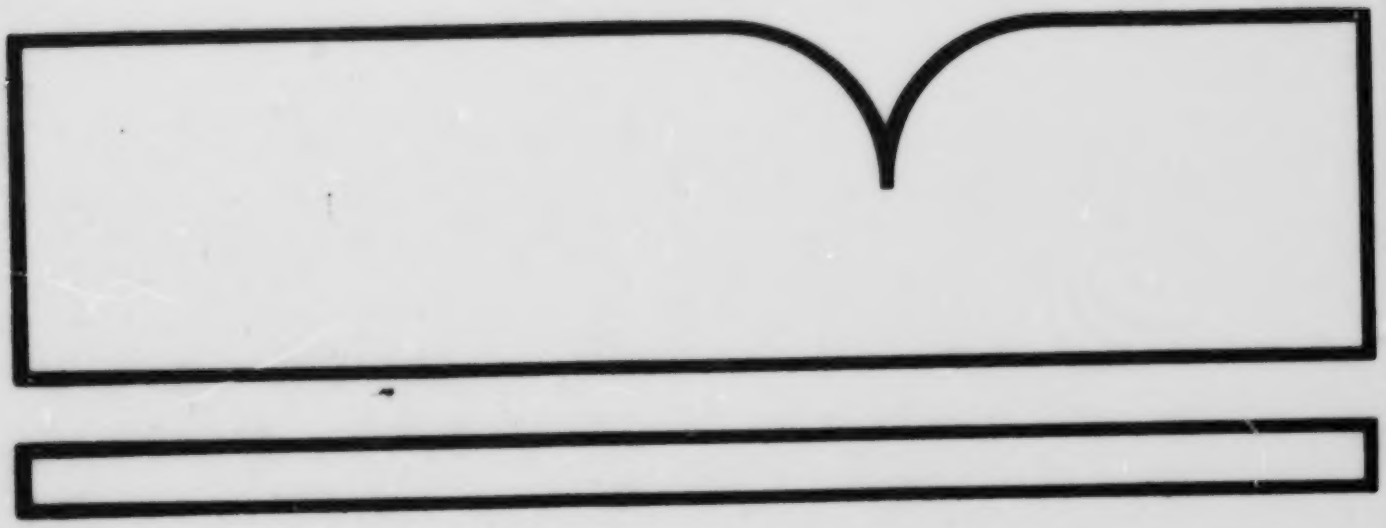
PB82-241746

Pollution Atmospherique: Techniques de Controle des Emissions d'Oxyde de Carbone en Sources Fixes (Air Pollution: Control Techniques for Carbon Monoxide Emissions from Stationary Sources)

NATO Committee on the Challenges of Modern Society, Brussels (Belgium)

Oct 73



U.S. Department of Commerce
National Technical Information Service
NTIS

COMITE SUR LES DEFIS DE LA SOCIETE MODERNE

NATO CCMS

OTAN CCMS

PB82-241746

POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Techniques de Contrôle des Emissions d'Oxyde de Carbone en Sources Fixes

N° 18

AIR POLLUTION

Control Techniques for Carbon Monoxide Emissions from Stationary Sources

REPRODUCED BY
NATIONAL TECHNICAL
INFORMATION SERVICE
U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
SPRINGFIELD, VA 22161

NATO Challenges for Modern Society

TECHNICAL REPORT DATA *(Please read Instructions on the reverse before completing)*		
1. REPORT NO.	2.	3. RECIPIENT'S ACCESSION NO. PB82 241746
4. TITLE AND SUBTITLE Pollution Atmospherique: Techniques de controle des emissions d'oxyde de carbone en sources fixes, no. 15.		5. REPORT DATE Octobre 1973 6. PERFORMING ORGANIZATION CODE 196014
7. AUTHOR(S)		8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO.
9. PERFORMING ORGANIZATION NAME AND ADDRESS Comite sur les Deifs de la Societe Moderne		10. PROGRAM ELEMENT NO. 11. CONTRACT/GRANT NO.
12. SPONSORING AGENCY NAME AND ADDRESS NATO		13. TYPE OF REPORT AND PERIOD COVERED 14. SPONSORING AGENCY CODE
15. SUPPLEMENTARY NOTES in French		

16. ABSTRACT

Summarized in this report are the methods of controlling the emissions of carbon monoxide from stationary sources.

They were gathered by the Commission of Air Experts, the Committee on the Challenges of Modern Society and OTAN, for dissemination to member countries.

17. KEY WORDS AND DOCUMENT ANALYSIS

a. DESCRIPTORS	b. IDENTIFIERS/OPEN ENDED TERMS	c. COSATI Field/Group
Carbon dioxide Control methods Carbon dioxide sources Committe on the Challenges of Modern Society		EPA 68A

18. DISTRIBUTION STATEMENT	19. SECURITY CLASS *(This Report)*	21. NO. OF PAGES
	20. SECURITY CLASS *(This page)*	22. PRICE

TECHNIQUES DE CONTROLE DES EMISSIONS D'OXYDE DE CARBONE EN SOURCES FIXES

Préparé par le Comité sur les Défis
de la Société Moderne

OTAN

Octobre 1973

AUTRES PUBLICATIONS OTAN/CDSM SUR LA CONTROLE DE LA POLLUTION DE L'AIR

Technical Report of the Conference on Low Pollution Power Systems Development, N. 4

Proceedings of the Second Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modeling, N. 5

Guide pour Evaluer la Qualité de l'Air (Révision) SO_x, TSP, CO, HC, NO_x et Oxydants, N. 6*

Critères de Qualité de l'Air Relatifs aux Oxydes de Soufre, N. 7*

Critères de Qualité de l'Air Relatifs aux Particules de Matières, N. 8*

Critères de Qualité de l'Air Relatifs aux Oxydes de Carbone, N. 10*

Techniques de Contrôle des Polluants d'Oxyde de Soufre dans l'Air, N. 12**

Techniques de Contrôle des Particules Polluantes de l'Air, N. 13**

Proceedings of the Third Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modeling, N. 14

Critères de Qualité de l'Air pour les Oxydes d'Azote, N. 15**

Techniques de Contrôle des Emissions d'Hydrocarbures et de Solvants Organiques en Sources Fixes, N. 19**

Techniques de Contrôle des Emissions d'Oxyde d'Azote en Sources Fixes, N. 20**

Proceedings of the Fourth Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modeling, N. 30

* Peuvent également être obtenus en Langue Française.

** Version française disponible au printemps 1974.

Ces documents peuvent être obtenus auprès du Comité sur les Défis de la Société Moderne, OTAN, 1110 Bruxelles, Belgique, ou auprès du Air Pollution Technical Information Centre, Office of Air and Water Programs, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 27711, U.S.A. (version en anglais seulement).

AVANT-PROPOS

Ce document représente un condensé d'informations sur les méthodes de lutte contre les émissions d'hydrocarbures et de solvants organiques, assemblés par la Commission d'Experts de l'Air, le Comité des Défis de la Société Moderne et l'OTAN, pour leur diffusion dans les pays membres.

Le Président de la Commission d'Experts veut rendre hommage aux efforts des chercheurs des pays pilotes, chercheurs des pays observateurs, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont aidé à la préparation de ce document et des quatre volumes suivants : Techniques de Contrôle des Particules Polluants de l'Air, Techniques de Contrôle des Emissions d'Hydrocarbures et de Solvants Organiques en Sources Fixes, Techniques de Contrôle des Polluants d'Oxyde d'Azote en Sources Fixes.

Nous remercions le Bureau Fédéral Américain de Protection de l'Environnement pour nous avoir permis de consulter leur documentation intitulée: Techniques de Contrôle des Emissions d'Oxyde de Carbone en Sources Fixes, publiée en 1970, et qui a été d'une importance fondamentale dans nos efforts. Nous remercions donc particulièrement les représentants de cet organisme.

La contribution d'un groupe de chercheurs de la République Fédérale d'Allemagne, sous la direction du Dr. Dieter Hartmann a été d'une grande aide. Elle a contribué d'une façon inestimable au succès de notre entreprise.

Nous tenons à remercier également l'équipe du Research Triangle Institute, Research Triangle Park, North Carolina (Etats-Unis), pour un travail de recherche, compilation de littérature et essais sur le sujet.

Enfin, nous devons remercier les secrétaires et autres personnes qui ont soutenu l'effort de notre Commission et l'ont rendu possible.

John K. Burchard, Ph.D
Président de la Commission

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE iii
1. INTRODUCTION 1-1
2. INFORMATIONS DE BASE 2-1
2.1 REFERENCES 2-5
3. SOURCES FIXES D'OXYDE DE CARBONE 3-1
3.1 SOURCES FIXES DE COMBUSTION DU CARBURANT 3-1
3.2 SOURCES DES PROCEDES INDUSTRIELS 3-8
3.2.1 L'Industrie du Fer et de l'Acier 3-8
3.2.1.1 Enrichissements du Minerais de Fer 3-9
3.2.1.2 Les Hauts Fourneaux 3-10
3.2.1.3 Fourneaux à Oxygène Basique 3-13
3.2.1.4 Les Cubillots à Fer 3-15
3.2.1.5 Les Fours à Sole (Fours Martin) 3-17
3.2.1.6 Les Fours Electriques 3-17
3.2.1.7 Les Fours à Coke 3-22
3.2.2 Les Raffineries de Pétrole 3-26
3.2.2.1 Les Opérations Catalytiques 3-26
3.2.2.2 Les Installations à Coke Fluide 3-29
3.2.3 L'Industrie Chimique 3-30
3.2.3.1 Gaz de Synthèse 3-30
3.2.3.2 Le Méthanol 3-32
3.2.3.3 L'Ammoniaque 3-33
3.2.3.4 Le Phosgène 3-34
3.2.3.5 Les Acides Organiques 3-35
3.2.3.6 Les Aldéhydes 3-37
3.2.3.7 Autres Composés Organiques 3-38
3.2.4 Fabrication de Noir de Fumée 3-41
3.2.4.1 Noir au Tunnel 3-42
3.2.4.2 Noir de Fumée d'Origine Thermique 3-42
3.2.4.3 Noir de Fumée 3-44
3.2.5 L'Industrie de la Pâte et du Papier 3-45
3.2.5.1 Les Fours à Récupération 3-45
3.2.5.2 Les Fours à Chaux 3-45
3.2.6 Sources Industrielles Diverses 3-46
3.2.6.1 Les Fours à Carbure de Silicium 3-46
3.2.6.2 Les Fours à Carbure de Calcium 3-46
3.2.6.3 Les Fours à Phosphore Elémentaires 3-48
3.2.6.4 Eléments de Réduction de l'Aluminium 3-50
3.3 INCINERATION DES DECHETS ET AUTRES SOURCES DE COMBUSTION . . . 3-52
3.4 REFERENCES 3-62
4. LES TECHNIQUES DE CONTROLE 4-1
4.1 INTRODUCTION 4-1
4.2 SUBSTITUTION OU CONSERVATION D'ENERGIE 4-1
4.3 BONNE TECHNIQUE DE FONCTIONNEMENT 4-5
4.4 SYSTEMES DE CONTROLE PAR BRULEUR AUTOMATIQUE 4-8
4.5 LES BRULEURS DE POST-COMBUSTION 4-9

4.6 LES CHAUDIERES A RECUPERATION DE CHALEUR PERDUE 4-11
4.7 LE SCELLEMENT MECANIQUE 4-19
4.8 LES CAPUCHONS PROTECTEURS 4-21
4.9 LES TORCHERES 4-24
4.10 TECHNIQUES DE CONTROLE DIVERSES 4-28
4.10.1 Elimination des Déchets avec ou sans Incinération . . 4-28
4.10.2 Prévention ou Extinction des Incendies 4-31
4.10.3 L'Oxydation Catalytique 4-32
4.11 REFERENCES 4-34
5. LES FACTEURS D'EMISSION POUR LES SOURCES D'OXYDE DEACARBONE . . . 5-1
5.1 REFERENCES 5-5

SOMMAIRE

Des sources fixes et mobiles sont à l'origine de l'émission d'oxyde de carbone trouvé dans l'air ambiant.

Les émissions estimées aux Etats-Unis durant l'année 1970 sont donnés dans le Tableau 3-1.

LES SOURCES D'OXYDE DE CARBONE

L'automobile est de loin la source la plus importante d'émission de CO.

Parmis d'autres sources majeures il faut compter les incendies de forêt, les incendies de bâtiment et les crassiers qui brûlent. Les sources industrielles comprennent les fonderies, les raffineries de pétrole et les moulins à pâte à papier. La combustion de rebus solides produit plus de CO que toutes les sources conventionnelles fixes qui brûlent du carburant.Les sources fixes d'oxyde de carbone sont énoncées dans ce document.

METHODES DE CONTROLE

Les techniques de contrôle des émissions d'oxyde de carbone depuis sources fixes qui brûlent comprennent : le déplacement de la source, la fermeture de celle-ci, la sustitution de l'énergie, la conservation de l'énergie et une bonne technique de fonctionnement. Différents systèmes utilisés pour contrôler les émissions depuis des sources de réaction fixes comprennent les brûleurs de post-combustion, les chaudières à récupération de chaleur perdue, le scellement mécanique, les hottes à vapeur et les torchères à gaz perdu.

Le Tableau 2-2 rassemble les méthodes de contrôle des émissions de CO en sources de combustion fixes et le Tableau 2-3 rassemble celles de contrôle des sources de réactions fixes.

FACTEURS D'EMISSION

Des facteurs d'émission peuvent être utilisés pour estimer les émissions depuis les sources pour lesquelles les résultats du test de cheminé ne sont pas valables. Les facteurs du processus d'émission de quelques types de sources sélectionnées sont présentés au Chapitre 5.

I. INTRODUCTION

L'oxyde de carbone dans l'atmosphère peut avoir des effets néfastes sur la santé et le bien être; la réduction de cet élément polluant peut être de première importance pour tout programme de réduction effective de la pollution atmosphérique. Ce document a été préparé afin de rassembler ces informations courantes sur les émissions d'oxyde de carbone -- sources et méthodes de contrôle de celles-ci.

Une variété de sources sont à l'origine de l'émission d'oxyde de carbone ; la variété des sources agraires, commerciales, domestiques, industrielles et municipales sont décrites individuellement dans ce document. La nature et les quantités de ces émissions à partir de différents procédés y sont discutés et les méthodes de contrôle qui ont été heureusement utilisées, annoncés.

Les techniques de contrôle décrites ci-après représentent un large spectre d'information dans de nombreux domaines de la technique et du génie civil. Les procédés, méthodes et principes ont été développés et utilisés pendant de nombreuses années, et une plus grande expérience fut acquise dans leur application. Ce sont des techniques en général applicables à une large gamme des problèmes de contrôle des émissions d'oxyde de carbone.

Une liste des facteurs d'émissions établie à partir de toutes les émissions des différentes sources estimables est présentée ici. Bien que ces facteurs soient normallement émis à partir de sources non contrôlées, ceux-ci sont donnés au cas où des types représentatifs de contrôle peuvent être appliqués.

Quand référence est faite à la BRD, cela signifie Bundes Republik Deutschland (Republique Fédérale Allemande)[2].

2. INFORMATIONS DE BASE

L'oxyde de carbone est un des éléments produit par l'incomplète combustion de matières carbonée; il est formé, par exemple, quand cette matière carbonée est brûlée dans une atmosphère réduite dont la teneur en oxygène n'est pas suffisante pour brûler complètement cette matière en gaz carbonique. Parce que ces conditions existent dans les cylindres d'un moteur à essence à combustion interne et également à cause du grand nombre d'automobiles en usage, les émissions de CO à partir de cette source excèdent visiblement celles faites à partir d'aucune combinaison d'autres sources.

On estime à 135 Gkg la quantité d'oxyde de carbone émise à partir des sources industrielles, domestiques ou commerciales aux Etats-Unis en 1970.[1] Le Tableau 2-1 montre, par catégorie, la contribution à ce total de chaque source. Les transports sont de loin le plus grand émetteur d'oxyde de carbone polluant.

Tableau 2-1. EMISSIONS D'OXYDE DE CARBONE PAR SOURCE, 1970[1]

Source	Quantité (Gkg)	Fourcentage du total
Transports	100,7	74,7
Combustion de carburant (fixe)	0,64	0,5
Procédés industriels	10,3	7,7
Elimination des déchets	6,5	4,8
Divers	16,6	12,3
	134,74	100,0

Tableau 2-2. - SOMMAIRE DES METHODES DE CONTROLE DES EMISSIONS D'OXYDE DE CARBONE A PARTIR DE SOURCES FIXES DE COMBUSTION.

Méthode de Contrôle	Remarques
Changer de carburant ou de source d'énergie. Changer du gazoil et du charbon au pétrole.	Il est admis que les facteurs d'émissions dûs à la combustion de charbon, de pétrole et de gaz produisent des émissions de CO décroissantes pour les trois carburants dans l'ordre donné ici. Cependant, les émissions de CO depuis des chaudières ou des fours correspondent à une si petite fraction du total des émissions de CO que le changement de carburant est injustifié.
Changer de puissance nucléaire ou production hydroélectrique.	L'utilisation de la puissance nucléaire est supposée s'étendre. La production hydro-électrique se développe lentement. La puissance nucléaire entraîne la production de CO dûe aux unités de puissance auxilliaire produites et qui emploient des carburants conventionnels lors des fonctionnements test periodiques.
Remplacer les besoins thermiques industriels, commerciaux et domestiques par une énergie centrale.	La production de puissance électrique est en augmentation. Les émissions de CO sont plus facilement controlables à partir d'une installation d'énergie centrale plutôt qu'à partir de petites installations et d'appareils ménagers. On obtient une plus faible efficacité lors de l'utilisation indirecte du carburant par l'intermédiaire de l'électricité que lors d'une combustion directe. Une réduction des concentrations locales de CO peut resulter en une augmentation des émissions d'oxyde d'azote (NO_x) depuis des installations d'énergie à distance.
Contrôle de l'alimentation en air au moment de la combustion.	Des chaudières chauffées au gaz bien ajustées peuvent émettre moins de 1 ppm de CO, mais peuvent également émettre plus de 50.000 ppm si une insuffisance d'air cause toujours la formation de CO; trop d'air peut produire la même résultat par extinction de la flamme.
Temps de résidence	Un temps de résidence court tend à causer plus de CO dans les gaz évacués. Un exact temps de résidence permet l'utilisation de moins d'air en excès.
Température	Une haute température est désirable mais la dissociation du CO_2 en CO devient notable à 1 810 K. Un refroidissement rapide et une concentration basse en oxygène tendent à gêner la récombinaison du CO_2. Des tempéra-

Tableau 2-2 (suite)

Méthode de Contrôle	Remarques
	tures de la flamme supérieures à 1 920 K contribuent à la formation d'oxyde d'azote (NO_x).
Mélange	Un bon mélange est très important pour la combustion du CO; le plan des appareils et des brûleurs devrait faciliter le mélange.
Contact de la flamme	Le contact de la flamme avec des surfaces froides tend à la formation de CO par extinction de celle-si; c'est à dire, qu'il réduit le temps de résidence à une effective température d'oxydation.
Changer de méthode d'élimination des déchets.	
Remplissage de terre par les déchets assainis	Remplace la combustion à l'air libre et l'incinération.
Différente traitements pour les crassiers de charbon.	Ceux-ci ne sont pas délibérément brûlés mais peuvent prendre feu par combustion spontanée ou par accident. Voir AP-52, TECHNIQUES DE CONTROLE DE L'OXYDE DE SOUFRE POLLUANT ATMOSPHERIQUE. (Control Techniques for Sulfur Oxide Air Pollutants).

Tableau 2-3. - SOMMAIRE DES METHODES DE CONTROLE DES EMISSIONS D'OXYDE DE CARBONE EN SOURCES FIXES.

Source	Méthode de Contrôle	Remarques
Industrie du fer de l'acier		
Hauts-fourneaux	Le CO dégagé est brûlé en tant que carburant	Les émissions peuvent être produites par un appareil déficient ou par accident.
Cubillot à fonte grise	Brûleur de post-combustion à flamme	Ne sont pas touts contrôlées.
Four à acier à oxygène basique	Brûlé dans le capuchon protecteur et dispersé par des cheminés	Captage des gaz pour l'utiliser en tant que carburant n'est par commun aux Etats Unis.
Four à agglomération du minerais par frittage	Aucune	
Four à coke	Bon plan, bon programme de marche, bon fonctionnement, bon entretient	Les contrôles sont les mêmes que ceux qui contrôlent les particules et le SO_2 (Voir AP-52, TECHNIQUES DE CONTROLE DES POLLUANTS ATMOSPHERIQUES PROVENANT D'OXYDE DE SOUFRE).
Industrie du pétrole		
Unité de cracking catalitique du pétrole	Doit être brûlé comme du carburant dans une chaudière à CO	Du CO est produit durant la régénération du catalyseur. La combustion comme carburant demande habituellement une quantité supplémentaire de carburant pour la stabilité de la réaction.
Four à coke à pétrole fluide	Doit être brûlé comme carburant dans une chaudière à CO.	Le gaz produit dans la section du four à coke des unités de cokéfication est riche en CO.
Industrie chimique	La plupart brûlé communément comme déchets	Reduire les quantités produites par l'industrie chimique dans son ensemble, mais ceci ne peut se produire que dans des branches spécifiques de cette industrie. Les émissions se font à partir des gaz purgeants, des fuites et des fonctionnements anormaux tels que mise en marche, refoulement, fermeture ou libération de surpression.

2.1 REFERENCES

1. OAP Data File of Nationwide Emissions, 1970. National Air Data Center, Applied Technology Division, Juillet 1972.

2. Carbon Monoxide-Origin, Measurement, and Air Quality Criteria. VDI Berichte Nr. 180. VDI-Verlag, Düsseldorf. 1972.

3. SOURCES FIXES D'OXYDE DE CARBONE

L'oxyde de carbone (CO) est un des produits de l'incomplète combustion d'une matière carbonée dans une atmosphère réduite; c'est à dire, quand l'oxygène utilisable n'est pas en quantité suffisante pour former du gaz carbonique (CO_2). Parce que ces conditions existent dans les cylindres d'un moteur à essence à combustion interne et à cause du grand nombre des automobiles en usage, les émissions de CO à partir de sources mobiles excèdent celles émises à partir de sources fixes et comptent pour environ 60 pour-cent du total des émissions de CO.

Le Tableau 3-1 est un sommaire des émissions de CO estimées en 1970 aux Etats-Unis. Aucune statistique ne fut valable pour les fourneaux de la métallurgie et pour l'utilisation d'explosifs, mais des statistiques pour d'autres sources totalisent approximativement 90 Gkg. Le Tableau 3-2 résume les émissions de CO de la BDR pour 1970.

Bien que de grosses quantités de CO soient produites et contrôlées par l'industrie, la plupart est réutilisée comme carburant ou matière brute de sorte que les émissions actuelles ne résultent seulement que de fuites ou de fonctionnements anormaux. De grosses participations proviennent de l'utilisation du bois en tant que carburant. Les faibles valeurs attribuées à la combustion du gaz naturel ne doivent pas donner l'impression qu'une combustion complète prend nécessairement place quand le gaz est brûlé ; en effet, de copieuses quantités de CO peuvent être formées si le carburant est brûlé avec trop peu d'air.

3.1 SOURCES FIXES DE COMBUSTION DU CARBURANT

Les sources de combustions fixes comprennent les centrales thermiques électriques ainsi que les unités de combustion industrielle, commerciale et domestique. Elles brûlent de grosses quantités de charbon, d'huile lourde et

Tableau 3-1. - RESUME DES EMISSIONS DES OXYDES DE CARBONE ESTIMEES AUX ETATS UNIS EN 1970[1]

(Gkg/an)

Source	Gkg	Pourcentage du total
Transports	100,5	74,6
Véhicules à moteur	87,6	65,0
Essence	86,9	64,5
Diesel	0,7	0,5
Avion	2,7	2,0
Chemins de fer	0,1	0,1
Navires	1,5	1,1
Utilisation d'essence de moteur en dehors des voies de transport	8,6	6,4
Sources fixes de combustion de carburant	0,7	0,6
Charbon	0,5	0,4
Huile lourde	0,1	0,1
Gaz naturel	0,1	0,1
LPG et kerosène	0,0	0,0
Bois	0,0	0,0
Procédés industriels	10,5	7,7
Elimination des déchets solides	6,5	4,8
Divers	16,6	12,3
Incendies de forêt	3,6	2,7
Incendies structurels	0,2	0,1
Déchets de charbon	0,3	0,2
Incendies agriculturaux	12,5	9,3
Total	134,8	100,0

Tableau 3-2. - RESUME DES EMISSIONS D'OXYDE DE CARBONE ESTIMEES EN BRD EN 1970[d]

Source	Emissions, Mkg/an	Pourcentage du total	Facteur d'émission
Transport	7 574	81	
Essence	7 230		350 kg/m^3[a]
Diesel	330		27 kg/m^3
Avions	14		20 kg/LTO
Combustion de carburant à partir de sources fixes	802	9	
Charbon	760		45 g/kg[b]
Huile lourde	39		0,6-2 g/kg[c]
Gaz naturel	3		0,3 g/m^3
Procédés industriels	900	10	
Incinérateurs municipaux	4		
Total	9 280	100	

[a]Par exemple, H. May, TUV Rheinland.

[b]12,6 Gkg de charbon domestique (coke et puit de charbon) Stat. Jahrbuch 1971.

[c]Etude sur Haushaltsfeuerungen; Batelle, Hartmann et Braun, NUKEM, 1972 pour le BMI (Ministère Allemand de l'Intérieur).

[d]BRD (Bundes Republik Deutschland) République Fédérale Allemande.

Tableau 3-3. - RESSOURCES D'ENERGIE MINERALE ET PRODUCTION ET CONSOMMATION D'ELECTRICITE AUX ETATS UNIS : 1965 à 1969[2]

(en 10^{15} Joules)

Année	Total	Charbon		Pétrole brut[a]	Gaz naturel[b]	Electricité
		Anthracite	Bitumeneux et lignite			
1965	57 000	346	12 700	22 800	21 200	2 220
1966	60 500	306	13 500	24 000	20 500	2 230
1967	62 500	290	13 300	24 800	21 600	2 530
1968	66 000	273	13 800	26 200	23 100	2 590
1969 (prél.)	69 300	257	14 000	27 400	24 800	2 970

[a] Y compris les produits de condensation mélangés. Au début de 1950, la consommation comprend les produits pétroliers (Importations nettes).

[b] Production vendue; comprend la quantité entreposée et perdue dans la transmission. La consommation comprend gaz liquide et sec. Début 1965, sur une base de pression absolue de 101,54 kN/m^2; autrefois, sur une base de 96,86 kN/m^2.

Tableau 3-4. - CONSOMMATION SPECIFIQUE D'ENERGIE PAR LES AMENAGEMENTS ELECTRIQUES EN BRD[3]

Année	Consommation, MJ/Kwh
1950	21,8
1960	12,8
1970	10,8
Estimations futures	
1975	10,0
1980	9,8

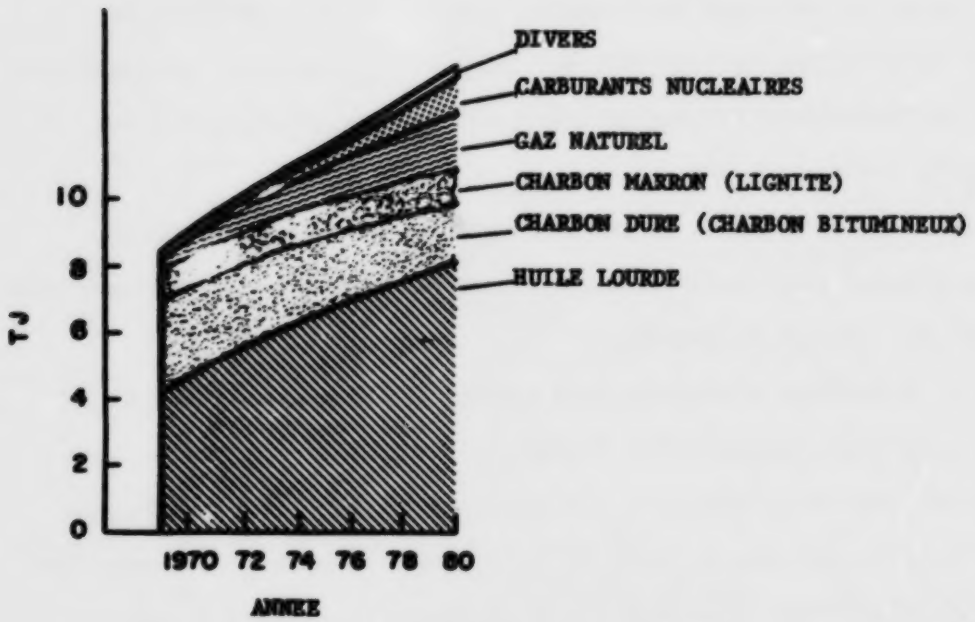


Fig. 3-1. Sources d'énergie projetées en BRD jusqu'en 1980.

et de gaz naturel (Voir Tableaux 3-3 et 3-4 et Figure 3-1) et de plus petites quantités de gaz de cokerie, de gaz des hauts fourneaux, de bois ou d'autres types de carburants obtenus à partir de déchets ou de sous-produits. A peu près 1000 centrales thermiques électriques aux Etats-Unis[4] brûlent du charbon, de l'huile lourde résiduel ou du gaz naturel. Les produits américains de production d'énergie depuis différentes sources jusqu'en 1990 se trouvent dans le Tableau 3-5. De similaires données pour la BRD sont données dans le Tableau 3-6.

La chaudière à vapeur est le plus commun dispositif de combustion fixe industrielle. D'autres types de chaudières utilisées dans l'industrie emploient de l'eau chaude, du sel fondu,des liquides organiques ou du mercure. Des alambiques chauffés, des calorifères, des fours et des fourneaux sont également utilisés; ces équipements brûlent du charbon du gaz naturel ou encore des huiles lourdes dérivées du pétrole.

Les processus industriels ou les sources d'incinération qui brûlent d'autres carburants sont inclus dans cet exposé parce qu'ils sont fondamentalement comparables aux sources de combustions fixes.

Plus de 30 millions d'installations domestiques et industrielles à chauffage à distance aux Etats-Unis [6] brûlent du charbon, du gaz naturel, de l'huile lourde dérivée du pétrole ; quelques unes brûlent du pétrole liquide ou des produits de gaz naturel. Plus de 2,5 millions de maisons sont chauffées par l'énergie électrique. Les fourneaux de cuisine, les séchoirs à linge et les radiateurs à eau chaude sont d'autres sources domestiques mineures. Les bâtiments commerciaux sont généralement chauffés par des appareils du style à vapeur, bien que l'eau chaude et l'air chaud soient également utilisés.

Tableau 3-5. - PRODUCTION D'ENERGIE AMERICAINE ESTIMEE POUR DIFFERENTS SOURCES D'ENERGIE[4]

(En 10^{15} Joules)

Source d'énergie	1968	1980	1990
Charbon	2 460	4 410	5 870
Pétrole	374	738	792
Gaz	1 100	1 740	2 230
Hydroélectricité	800	987	1 135
Nucléaire	43	3 260	11 020
Total	4 777	11 135	21 050

Tableau 3-6. - REDUCTION D'ENERGIE POUR DIFFERENTES SOURCES D'ENERGIE EN BRD, 1970[5]

Source d'énergie	10^{15} J	Pourcentage du total
Charbon	396,0	68
Pétrole	73,4	12
Gaz	32,3	6
Hydroélectricité	55,7	9
Nucléaire	21,5	4
Divers	4,7	1
Total	583,6	100

La quantité des émissions de CO à partir de sources de combustion fixes chauffées au pétrole ou au gaz est négligeable comparée au 90 Gkg de toutes les sources des Etats-Unis; les émissions faites à partir de sources chauffées au charbon correspondent à 1 pour-cent du total. Les facteurs d'émission des propagations estimées de CO depuis différentes sources facilitent les comparaisons qualitatives mais non quantitatives entre les différents carburants et équipements. Des différences dans les émissions de CO dans des chaudières chauffées à partir du charbon, du gaz et du pétrole n'ont pas été prouvées. Un foyer mécanique chauffé au charbon, un four à grille commercial, ou un appareil industriel de combustion produisent probablement plus de CO par unité de chaleur absorbée qu'une installation chauffée au gaz ou au pétrole ; des équipements domestiques bien ajustés chauffés au charbon produisent incontestablement plus que des équipements équivalents chauffés au pétrole ou au gaz. Une insuffisance dans l'alimentation en air peut augmenter de plusieurs milliers de fois le taux de CO émis à partir d'appareils bien ajustés ; sous ces conditions, des appareils chauffés au pétrole et au charbon émettent une fumée dense, mais des appareils chauffés au gaz doivent être extrêmement mal ajustés pour émettre de la fumée.

La BRD montre une même disposition des sources d'émission avec les transports, ceux-ci rendent en effet compte d'émissions de 7,6 Gkg/an. Dans quelques parties où les sources chauffées au charbon prédominent (région Nord Rhin Westphalie), les émissions correspondent à celle des transports pendant les mois d'hiver.[7, 8, 9]

3.2. SOURCES DES PROCEDES INDUSTRIELS

3.2.1 L'Industrie du Fer et de l'Acier

L'oxyde de carbone est produit au cours de plusieurs étapes de la production du fer et de l'acier : les installations à minerais sintérisé en produisent

d'importantes quantités, les hauts fourneaux qui fournissent des métaux brûlants en engendrent de grosses quantités mais en libèrent de petites, étant donné que les gaz sont épurgés et utilisés comme carburant; parmis les fours à acier, les récents fours à oxygène basique sont prévus pour refroidir et nettoyer les gaz d'échappements et les utiliser comme carburant, les Fours Martin ont de l'air en excès qui permet aux derniers brûleurs allumés de consommer complètement le CO libéré depuis le bain de métal, enfin les fours électriques brûlent aux extrêmités des électrodes de petites quantités qui sont émises. Les fours à coke en produisent d'importantes quantités mais la plupart est recueillie avec les gaz de cokerie et utilisée en tant que carburant. Les cubillots en produisent d'importantes quantités et seulement quelques unes peuvent être contrôlées. Les fours et les chaudières à réchauffeur utilisés dans les laminoires sont sujets aux mêmes problèmes d'émissions que les autres chaudières.

3.2.1.1 Enrichissements du Minerais de Fer (Installation à Minerais Sintérisé)

Le minerais de fer est enrichi par meulage, par concentration magnétique et par agglomérage par frittage du concentré en coke ou en grenailles qui seront utilisés en tant que charge pour les hauts fourneaux. La capacité totale des installations aux Etats-Unis en 1960 était de 59 Gkg de coke sintérisé et de 13,5 Gkg de grenailles. La capacité en 1970 était de 68 Gkg de minerais sintérisé et de 36 Gkg de grenailles.[10]

Les émissions d'oxyde de carbone lors des opérations d'agglomération par frittage peuvent être estimées à partir du Tableau 3-7. Si l'on considère 14 m^3/ 1 000 kg de minerais sintérisé brut ou 19m^3/1 000 kg de minerais sinterisé finis, la valeur caractéristique en a à peu près de 16 kg de CO par 1 000 kg de mélange de minerais sintérisé ou de 22 kg de CO par 1 000 kg de minerais sintérisé fini. Les données de la BRD indiquent un facteur d'émission de 20kg de CO par 1 000 kg de minerais sintérisé.[11]

A partir des prédictions de capacité, la production de minerais sintérisé américain en 1968 est estimé à 67 Gkg et celle de grenailles à 32 Gkg. En considérant la production en 1968, les émissions de CO calculées annuellement sont de 1,5 Gkg pour le minérais sintérisé et de 0,71 Gkg pour les grenailles. En BRD en 1971, les émanations de CO correspondaient à un total annuel de 0,66 kg au cours des opérations qui produisaient 33 Gkg de minérais sintérisé.[12]

3.2.1.2 Les Hauts Fourneaux -- Un haut fourneau est un large bâtiment cylindirique en acier, revêtu de briques réfractaires, d'approximativement 30 m de haut. Le minerais de fer, le coke et la castine sont chargés au sommet et de l'air chaud est soufflé en bas. Le coke préchauffé par les gaz chauds ascendants du foyer rentre en contact avec les vents chauds et brûle avec grande intensité. A de hautes températures (au-dessus de 1 900 K) le CO_2 n'est pas stable à cause de la grande quantité de carbone présente sous forme de coke ; de cette façon, tout le CO_2 formé réagit immédiatement avec le carbone (C) pour former CO :

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO$$

Dans les hauts fourneaux modernes, entre 300 et 450 kg de carbone réagissent de cette manière pour chaque 1 000 kg de métal chaud produit.[13] Ceci forme entre 650 et 950 kg de CO . Le CO réduit l'oxyde ferrique en fer ferreux.

Les gaz quittant le fourneau contiennent à peu près 25 à 30 pour-cent de CO,[14] qui donne au gaz un valeur de chauffe de 3,7 MJ/m^3. Le gaz du fourneau peut ainsi être utilisé en tant que carburant. Dans le système de nettoyage habituel, un collecteur de poussières (chambre de décantation) est suivi par un séparateur de moyenne efficacité (épurateur premier) ou par un séparateur Venturi à perte de charge, un désintégrateur rotatif ou par un dépoussièreur électrostatique (épurateur secondaire). Un séparateur Venturi est succeptible d'être utilisé avec un haut fourneau qui fonctionne

Tableau 3-7. - EMISSIONS DE GAZ LORS DES OPERATIONS D'AGGLOMERATION PAR FRITTAGE DU MINERAIS

AUX ETATS UNIS

Experimentation no.	Carburant		Pourcentage d'eau	Atmosphere	Volume spécifique[a] m^3/1 000 kg	Température moyenne de la couche la plus basse, K	Gaz, pourcentage		Composition	
	Nature	Pourcentage					CO_2	CO	O_2, pourcentage	$\frac{CO}{CO+CO_2}$
A-1	Coke--3 mm	4	3,5	Air	980	1 710	4,7	1,1	15,2	0,19
A-2	Coke--3mm	4	3,5	Air	1 000	1 710	4,6	1,1	15,0	0,19
B	Charbon de Bois--3mm	3,5	3,5	Air	980	1 360	4,7	2,5	13,9	0,35
C-1	Coke--0,15 mm	4	3,5	Air	1 000	1 650	6,6	1,7	12,8	0,21
C-2	Coke--0,15 mm	4	3,5	Air	980	1 640	6,8	1,8	12,6	0,21
D	Charbon de bois--3mm	3,5	3,5	O_2 9% N_2 91%	1 070	1 560	3,9	1,9	4,2	0,33
E	Electrode de graphite-- 3 mm	3,5	3,5	Air	1 130	1 790	4,8	0,5	15,0	0,095
F	Cendres de corneaux (16,3% C)	21,5	3,5	Air	1 180	1 520	2,5	1,05	17,5	0,30

[a]Volume spécifique par 1 000 kg de mélange de minérais sinterisé brut et approximativement 750 kg de minérais sinterisé fini.

EN BRD

Température du minerais sinterisé	1 420 - 1 520 K
Analyse du gaz d'échappement	1 000 - 4 000 Nm^3/1 000 kg (sinterisé)
O_2	10-20 volume pourcent
CO_2	4-10 volume pourcent
CO	0- 6 volume pourcent
SO_2	0,4 volume pourcent

à une haute pression. Une partie des gaz néttoyés est utilisée pour préchauffer l'air soufflé avant son injection dans le fourneau au travers des tuyères pour intensifier et accélérer la combustion du coke réclamé pour la fusion. Pour le préchauffage, trois "fours", ou réservoirs d'acier cylindriques revêtus de briques réfractaires possèdent un orifice de passage descendant avec un empillage pour absorber la chaleur; les trois fours sont alternativement "sur gaz" ou "sur souffle". Les fours modernes pour importants hauts fourneaux sont de 8 à 8,5 m de large sur 37 m de haut.[13] Le reste du gaz épuré est utilisé pour former de la vapeur, pour chauffer des pits de bain, pour sous-allumer des fours à coke et pour diverses utilisations de chauffage.

Tout le CO produit dans les hauts fourneaux est normallement utilisé comme carburant; de conditions anormales, néanmoins, peuvent causer des émissions de poussière et de CO.Les "glissements" sont les principaux problèmes. Un glissement, causé par coïncement initial du minerais dans le fourneau, se produit quand le matériaux en pont se déplace soudain vers le bas, crée un vide et permet au gaz de s'engouffrer vers le haut du fourneau.[13] Au-dessus du pont, l'afflux de gaz cause des hautes pressions anormales, beaucoup plus importantes que ne peut en contenir l'appareil d'épuration des gaz.[14] Les soupapes de décharge et de sécurité étant ouverte pour libérer la pression, un nuage de poussière et de CO est émis dans l'atmosphère.

L'expérience en BRD propose l'analyse suivante des gaz de gueulard des hauts fourneaux : N_2, 55 à 60% ; CO, 25 à 30% ; CO_2, 11 à 17% ; H_2, 0.5 à 4% ; CH_4, 0 à 3% ; et un pouvoir de chauffe de 4,2 MJ/m^3. Le gaz produit se situe à un taux de 4,5 m^3 par kg de fonte brute dont un quart sert à préchauffer l'air de combustion dans le réchauffeur d'air et un autre quart à actionner les moteurs à gaz (la contenance en poussière étant

de moins de 20 µkg/Nm^3). La dernière montée de gaz est utilisée pour les centrales et dans l'industrie du coke et de l'acier, mais en premier le gaz doit être épuré de 10 à 50 g/Nm^3 de sa charge en poussière.[15]

En ce qui concerne la fonte brute produite par la BRD, voir le Tableau 3-8 et pour la production et la consommation des gaz de gueulards des hauts fourneaux en BRD, voir Tableau 3-9.

3.2.1.3 Fourneaux à Oxygène Basique -- Le procédé utilisant l'oxygène basique produit de l'acier en oxydant les impuretés, principalement le carbone et le silicium à partir des métaux brûlants des hauts fourneaux et de la ferraille, dans un récipient non chauffé en forme de poire monté verticalement sur des tourillons. La charge qui n'occupe qu'une petite partie du récipient est raffinée par un fer très rapide d'oxygène commerciale pure à partir d'une lance à refroidissement à eau et plongée dans l'orifice du récipient à une distance prédeterminée au-dessus de la surface du bain. La distance varie durant la soufflure de 2 à 0,75 m dans différentes installations.[18]

Au début de la soufflure, une fumée brune foncée se dégage, causée par l'oxydation du fer et persiste jusqu'au début de l'oxydation du silicium, du manganèse et du phosphore; alors ces oxydes pénètrent dans le laitier et le carbone s'oxyde et se dégage principalement sous forme de CO. Un excès d'air, habituellement mélangé avec les gaz pour brûler le CO quand les gaz de sorties sont recueillis, élimine la possibilité d'une explosion due à l'allumage au sein du système d'échappement. Beaucoup de fourneaux sont équipés de chaudière à récupération de chaleur perdue pour une récupération thermique à partir de la combusiton de CO.[19]

Tableau 3-8. - PRODUCTION DE FONTE BRUTE ET DE FERROALLIAGE DE HAUTS-FOURNEAUX (EXCLUSANT LA FERRAILLE ET LA SAUVETAGE)[16]
(Mkg)

Année	Total	Type					
		Fonte brute Thomas	Fonte brute d'acier	Fonte brute de fondries	Hématite et fonte brute malléable	Fonte et ferro-manganèse	Ferro-silice
1955	16,5	10,6	3,7	0,9	0,75	0,24	0,33
1960	25,7	16,7	6,8	0,7	0,95	0,28	0,31
1965	27,0	14,9	9,8	0,45	1,29	0,28	0,28
1971	30,0	11,8	16,1	0,28	1,43	0,21	0,13

Tableau 3-9. - CONSOMMATION ET PRODUCTION DE GAZ DE GUEULARDS DES HAUTS FOURNEAUX EN BRD[17]
($Nm^3 \times 10^6$)

Année	Production	Consommation						
		Total	Zone d'utilisation					
			Production d'énergie	Chaudières à vapeur	Métallur-gie	Fours à Coke	Laminoirs chauds	Pertes et déchêts
1950	8 267	6 740	949	1 617	314	2 705	572	1 700
1960	18 448	14 021	1 168	3 371	855	5 532	2 271	3 822
1965	14 005	11 586	402	2 718	475	4 744	2 180	2 418
1971	12 614	10 574	196	3 798	553	3 990	1 411	2 041

D'après le rapport 70:30 de métal brûlant, de ferrailles et de chaux brûlée, le gaz d'échappement produirait environ 62 à 76 kg de CO par 1 000 kg d'acier. Après que l'air aspiré soit ajouté au gaz d'échappement, le poids du gaz sec augmentera d'environ 900 à 1000 kg par 1 000 kg ; et après la combustion la contenance en sera de 0 à 1,3 kg. Durant le normal fonctionnement d'une installation à fer et à acier, seulement de petites quantités de CO depuis cette source atteignent l'atmosphère.[19]

Une disposition caractéristique d'une installation utilisant de l'oxygène basique est montrée dans la Figure 3-2 ; la flammabilité du gaz, aussi bien que sa composition en fonction du temps, est donné dans la Figure 3-3.

3.2.1.4 Les Cubillots à Fer --Dans un cubillot ou dans un cylindre vertical, revêtu de matériaux réfractaires, ouvert au sommet et équipé à la base de nez de tuyères à air, l'air souffle depuis une soufflante à tirage forcé au travers de différentes charges de métal, de coke et de castine placés au sommet de la couche de coke brûlant. La chaleur dégagée brûle le métal qui est étiré au travers du trou de coulée.

Comme dans un haut fourneau, l'air soufflant dans une couche incandescente de coke forme une considérable quantité de CO. Les gaz émis à partir du cubillot contiennent de 10 à 13 pour-cent de CO.[22] Ceci correspond à 110 à 185 kg de carbone par 1 000 kg de fer fondu. Un questionnaire étude de 1966 émanant de l'Agence pour la Protection de l'Environnement et du Département Américain du Commerce révélait que 1 680 fonderies américaines produisaient 13,3 Gkg de chargement de fer coulé dans des cubillots qui réclamaient 29,4 Gkg de fonte. Approximativement 10 à 20 pour-cent de cette production avait tendance à enflammer le contrôle du brûleur de post-combustion qui avait une efficacité évaluée à 90% dans la réduction du CO. Avec un facteur d'émission de CO de 125 kg/1 000 kg

1 Torchère
2 Cheminée
3 Ventilateur à tirage forcé
4 Eaux résiduelles
5 Godet
6 Injection d'eau
7 Echangeur de surface de chauffe
8 Préséparateur
9 Collecteur
10 Convertisseur
11 Tambour à vapeur

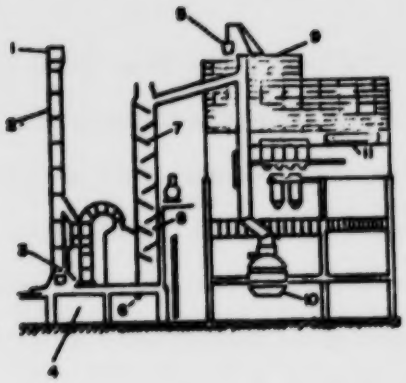


Fig. 3-2. Le procédé à système basique, "LD - Blasstahlverfahren"[20]

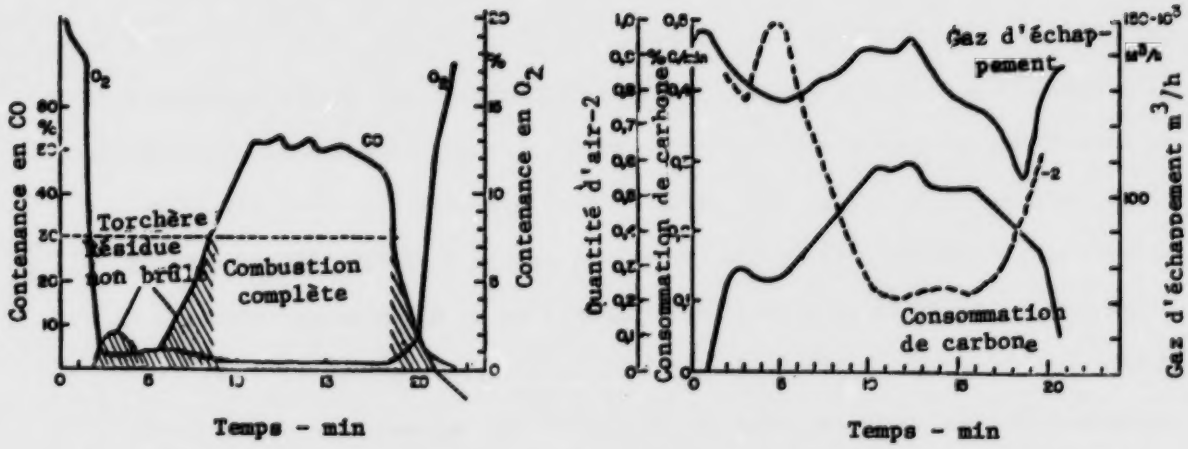


Fig. 3-3. Cycle de conversion de l'oxygène du vent soufflé par le temps[21]

de fonte à partir de cubillot non contrôlé et de 5 kg/1 000 kg de fonte (ou de charge) à partir d'un cubillot contrôlé, 3,14 Gkg de CO était émis depuis des cubillots à fer, aux Etats-Unis en 1966.

Une étude test faite en BRD rapporte la relation entre la contenance en CO, la teneur en humidité, le préchauffage et l'utilisation de brûleurs de post-combustion sur la combustibilité des gaz d'échappements du cubillot (Voir Figure 3-4). Il y a 1 800 cubillots dans 900 fonderies en BRD produisant 2,44 Gkg de fonte en 1971. L'émission de CO était estimée à 150 Mkg.

3.2.1.5 Les Fours à Sole (Fours Martin)-- Le procédé à sole (Martin-Siemens) ne produit pas de CO parce que l'air en excès préchauffé, utilisé avec la combustion des gaz, maintient une haute température dans les conduites d'échappement et qu'il souffle pendant une longue période.[23] La Figure 3-5 illustre l'aménagement du four.

3.2.1.6 Les Fours Electriques -- En 1967, 13,6 Gkg ou 11,8 pour-cent de l'acier américain était produit dans des fours à arc électrique.[24] Ce four électrique est particulièrement bien adapté à la production d'acier à partir de ferraille froide. Bien que le procédé à oxygène basique ait un capacité limitée pour ce qui est de la ferraille et bien qu'un important approvisionnement de ferraille bon marché soit disponible, le taux de production de l'acier à partir des fours électriques continue d'augmenter.

Quand un excès de carbone (rarement au-dessus de 0,5 pour-cent) est ajouté à la charge, il crée une ébullition du carbone qui remue et épure le bain de métal et produit 9 kg de CO par 1 000 kg. Peut être uniquement la moitié du CO réagit avec l'oxygène du CO_2 dans les fours électriques.[25] Tout le reste oxyde essentiellement en CO_2 aux orifices de l'électrode.

Un four à arc électrique immergé est utilisé dans la production de ferroalliages; le Tableau 3-10 montre la production américaine en 1967.

Combustibilité de gaz du cubillot à four à différent contenances en humidité

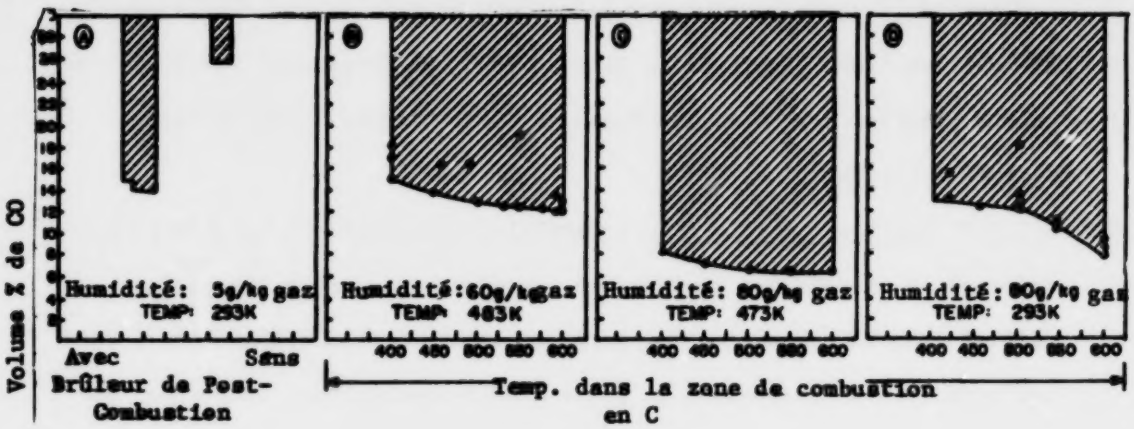


Fig. 3-4. Combustibilité des mélanges de gaz en fonction de la contenance en CO.

a. Conditions normales, fours froids
b. Avec gaz préchauffé, zone de combustion sans brûleur de post-combustion à flamme principale
c. Avec gaz préchauffé; avec brûleur de post-combustion à flamme principale
d. Sans gaz préchauffé, avec brûleur de post-combustion à flamme principale.

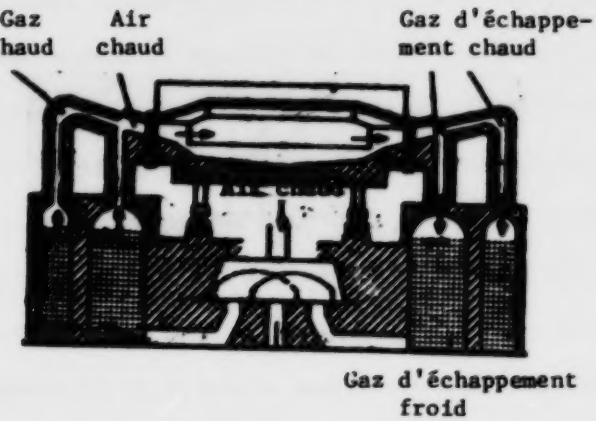


Fig. 3-5. Four Martin à acier caractéristique

Tableau 3-10. PRODUCTION DE FERROALLIAGES DANS LES FOURS ELECTRIQUES AUX ETATS UNIS, 1967[19]

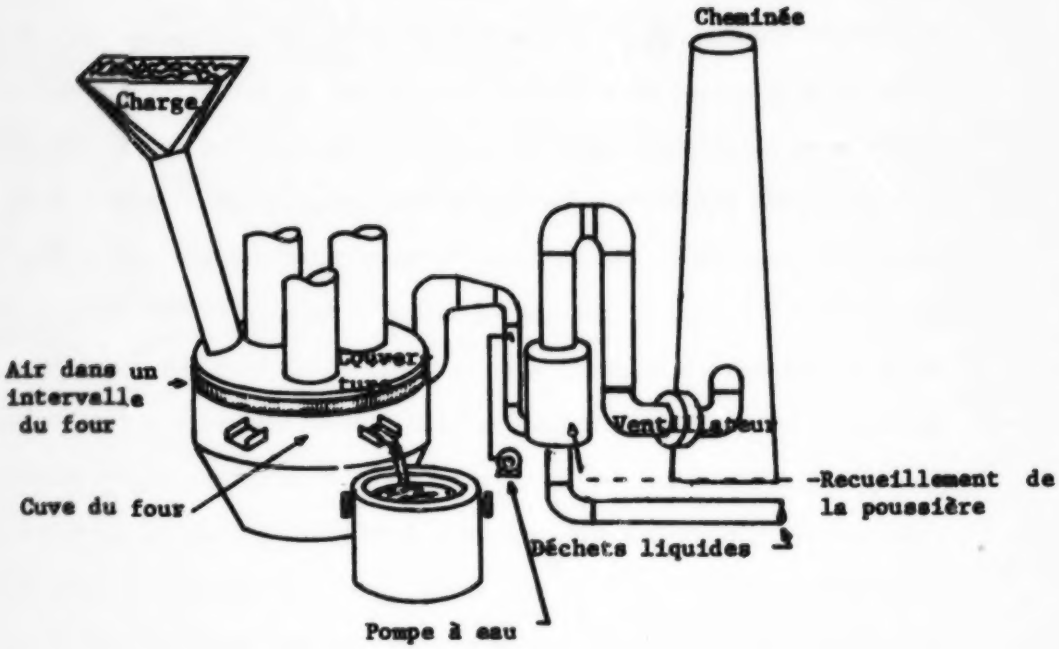
(Mkg/an)

Ferroalliage	Production
Ferromanganèse	254
Ferrosilicium	478
Ferro-chrome	238
Ferro-chromo-silicium	140
Ferrophosphor	101
Silicomanganèse	208
Tous les autres	235
Total	1 654

Les ferroalliages sont faits d'oxydes réduits. Pour faire du ferrochrome, la charge peut être du minerais de chrome, de la castine, du quartz (de la silice), du charbon, des copeaux de bois ainsi que de la ferraille; dans ce cas, la silice et la castine formeraient un laitier. Pour faire du ferrosilicium, la charge doit être de la ferraille, de la silice et du coke. Dans chaque cas, de grosses quantités de CO s'échappent par les canalisations et les pores dans la charge, et le gaz qui s'échappe contient une grande quantité de particules plus petites qu'un micron, (50 pour-cent de moins que 0,1 µm) qui posent de difficiles problèmes de contrôle.

Les gaz d'échappement contiennent 85% de CO ; 2,5% de gaz carbonique ; 0,5 % d'oxygène, 10% d'hydrogène et 2 à 2,5% chacun de méthane et d'azote. L'utilisation de ce gaz, même en temps que carburant de chaudière (puissance de chaleur approximativement égale à : 12,7 MJ/m^3) demanderait une épuration des déchets et ne serait que d'une petite économie. La plupart des fours fonctionnent avec un sommet ouvert et brûle du CO quand celui-ci s'échappe au travers de la charge. Le CO s'échappant est normalement à 670 K, mais peut aller jusqu'à 1090 K. Le CO résiduel (plusieurs pour-cent) peut être causé par une incomplète combustion et par des concentrations de CO aux températures de la flamme. Une ventilation adéquate au sein des surfaces des fourneaux maintient les niveaux de CO dans les limites de sécurité ; les appareils de détection du CO avertissent des dangereuses concentrations.

La Figure 3-6 montre un four à arc électrique caractéristique avec contrôle de poussière pour l'industrie des ferroalliages : un ventilateur insuffle de l'air dilué dans l'intervalle qu'il y a entre la cuve du fourneau et le couvercle. (Si un manche filtrant est utilisé à la place d'un séparateur par lavage, l'air dilué n'est même plus nécessaire pour



Fib. 3-6. Four électrique pour l'industrie de ferroalliages

baisser la température du gaz). A l'intérieur du couvercle du fourneau, le CO brûle quand il est mélangé avec de l'air, et le CO non brûlé passe au travers du dispositif de contrôle des particules et puis dans la cheminée. Aucun facteur d'émission n'est valable pour ces fours. Avec un capuchon protecteur bien serré, la concentration en CO des gaz épurés sera de 80 à 90% et le gaz peut être utilisé en tant que carburant pour chaudière s'il y a un utilisateur tout près; sinon le gaz peut le brûler vivement.

Parce que les fours sont extrêmement poussièreux il y aura dans le futur une augmentation de la pression pour contrôler les particules. Les manches filtrant et les autres dispositifs de contrôle coûteraient moins si les gaz s'échappant des fours pouvaient être refroidis par radiation ou d'autres méthodes au lieu d'être refroidis par dilution dans l'air, ce qui augmente le volume de gaz à maîtriser. Cette modification supposeraient la présence de systèmes fermés maîtrisant et émettant du CO relativement concentré, ce qui augmenterait grandement les émissions de CO. Il est possible d'utiliser ce gaz en tant que carburant ou de le brûler vivement.

3.2.1.7 Les Fours à Coke -- Le coke est produit par carbonisation (distillation sèche de carbone) cela soit dans des fours à ruches, soit dans des fours à sous- produits, chacun d'eux sont chauffés avec soin à la température de cokéfaction et restent chauds pendant des temps de vie de 20 à 30 ans. Une batterie peut consister en 100 fours à coke côte à côte dans un même groupe stuctural continue. La production annuelle aux Etats-Unis de coke à partir des deux types de four est donnée au Tableau 3-11. Vers 1967 la production dans des fours à sous-produits à décliné d'à peu près 1,2 pour-cent.[24] La production de la BRD en coke est donnée dans le Tableau 3-12.

Tableau 3-11. - STATISTIQUES HISTORIQUES DE L'INDUSTRIE AMERICAINE DE COKE.[26]

Année	Production de coke, en Gkg			Production de fours à sous-produits, pourcentage	Rendement du coke depuis le charbon, pourcentage
	Fours à sous-produits	Fours à rûche	Total		
1880		3,0	3,0		63,7
1890		10,4	10,4		63,9
1900	1,0	17,6	18,6	5,2	63,9
1910	6,4	31,2	37,6	17,1	66,1
1920	27,9	18,6	46,5	60,0	67,4
1930	41,0	2,5	43,5	94,2	68,7
1940	48,9	2,8	51,7	94,6	70,1
1944	60,7	6,4	67,1	90,6	70,3
1950	60,6	5,3	65,9	92,0	69,9
1955	66,7	1,5	68,2	97,7	69,9
1960	51,0	0,9	51,9	98,2	70,3
1966	59,8	1,3	61,1	97,9	69,9
1967	57,7	0,7	58,4	98,8	69,6
1968	57,3	0,7	58,0	98,8	70,2

Tableau 3-12. - PRODUCTION DE COKE EN BRD[27]
(Gkg)

Rendement	Charbon utilisé	Production du coke	Rendement, pourcentage
1950	2,82	2,16	76,4
1955[a]	4,65	3,51	75,5
1960	9,92	7,53	75,9
1965	7,17	5,39	75,2
1971	10,40	7,95	76,4

[a]Production avant 1955 n'inclue pas la Sarre.

Les fours à sous-produits polluent beaucoup moins l'atmosphère que les fous à rûche. Environ 6 000 kg de charbon sont chargés par lot dans une ouverture du toit en forme de dôme, cette ouverture étant la même que celle par laquelle les produits de distillition et de combustion s'échappent. Une porte sur le devant est utilisée pour régler la quantité d'air permise durant la cokéfaction et pour déverser le coke fini. Entre les charges, assez de chaleur est retenue par le four pour enflammer les gaz à la surface de la nouvelle charge et donner suffisamment de chaleur au processus de cokéfaction. Comme la chaleur s'est formée durant la cokéfaction, le charbon est transformé en une masse pâteuse, à demi-fondue et étendue ; quand la cokéfaction est terminée et que les briques placées à la porte sont arrachées, le coke rapidement refroidi par un jet d'eau se casse en d'irréguliers morceaux en forme de colonne caractéristiques du coke formé à partir de sous-produits ; le coke refroidi est criblé.

Dans un four à sous-produit, le charbon est chauffé en absence d'air et les matières volatiles sont conduites vers les appareils qui extrayent les ingédients intéressants tels que du goudron, une solution ammoniacale et de l'huile légère provenant du gaz. Apres que 14 500 à 18 000 kg de charbon aient été chargés depuis les orifices dans le sommet du four, les orifices sont scellés, et le charbon commence à rentrer en fusion. La fusion se produit vers le centre depuis chacun des deux murs du four rectangulaire ; éventuellement, une fissure peut se former au milieu de la charge où les deux zones de fusion se rencontrent. Au bout d'environ 20 heures, la carbonisation est finie et la charge est poussée dans des chariots pour être trempée, refroidie et criblée. Ce procédé à hautes températures,

1170 à 1450° K, est utilisé presque exclusivement aux Etats-Unis.

Le gaz de houille chaud est d'abord refroidi avec une solution acqueuse d'ammoniac pour condenser le goudron et fixer les sels tels que du chlorure d'ammoniaque. Le goudron restant est éliminé par davantage de refroidissement et par précipitation électrostatique. L'ammoniaque est récupérée par une faible solution d'acide sulfurique. Un acide séparateur élimine les vapeurs d'acide sulfurique. L'huile liquide, déplacée dans une série de tours à mécanisme d'épuration par lavage, est ensuite distillée et traitée pour produire du benzène, du toulène et d'autres produits. Approximativement 36 pour-cent des gaz de cokerie (puissance de chauffe 20,6 MJ/m^3) produits pendant la cokéfaction sont utilisés pour chauffer le four à coke ; [24] la quantité restante est habituellement utilisée en tant que moyen de chauffage dans d'autres installations à acier utilisant d'autres procédés.

Environ 420 m^3 de gaz de houille sont récupérés à partir de la production de 1 000 kg de coke dans un four à sous-produits.[26] Environ 6 pour-cent, par volume, de ce gaz est du CO.[28] La combustion efficace du gaz, qui produit de la chaleur pour la cokéfaction ou pour d'autres procédés, oxyde du CO en CO_2 ; cependant, quelques émissions de CO ont lieu pendant le chargement et le déchargement.

Si l'on fait référence à la Figure 3-7, on remarque que les concentrations plus importantes que 5,4 pour-cent du volume ne durent pas plus d'une minute (Installation A). La réduction de concentration est rapide quand les échappements du gaz chargé s'enflamment. (Installation C). L'expérience de la BRD montre des émissions de CO de 3 à 5 Nm^3 par 1 000kg

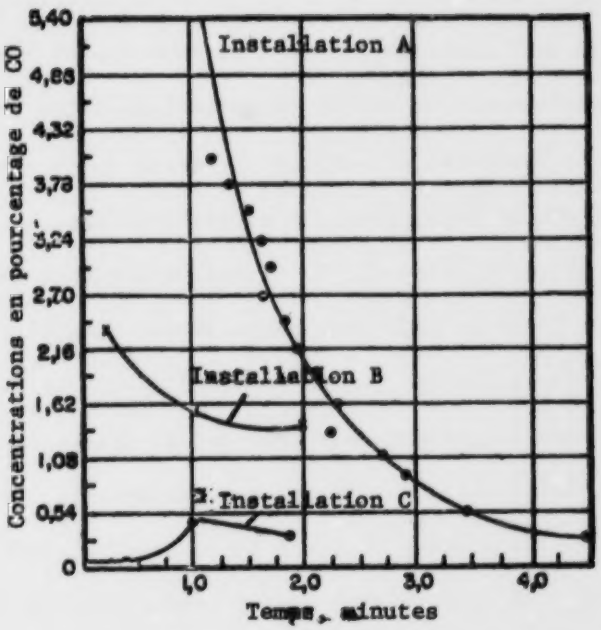
de coke parmis lesquels 10 pour-cent par volume sont du CO. Basé sur leur fontionnement en BRD en 1971, 3 Mkg de CO avait été dégagé dans l'atmosphère.

Le gaz de huille formé à l'intérieur des fours à rûches est brûlé inefficacement pour fournir de la chaleur du procédé de cokéfaction. Les produits de combustion et les gaz de huille non brûlés s'échappent dans l'atmosphère. Si les statistiques concernant les fours à sous-produits sont supposées s'appliquer aux gaz d'échappant de fours à rûches, alors les émissions de CO (basées sur la production de coke en 1967) pour tous les fours à rûches totaliseraient $15,2 \times 10^6$ m^3 ou 18,14 Mkg par an.

3.2.2. Les Raffineries de Pétrole

Parmis les sources de CO d'une raffinerie de pétrole sont des récupérateurs à catalyseur, des opérations de cokéfaction, des gazongènes recouvertes, des torchères, des chaudières et de la marche des calorifères. Seuls les récupérateurs à catalyseur à couches mobiles et les machines à coke fluide émettent une quantité notable de CO.

3.2.2.1 Les Opérations Catalytiques -- Dans le traitement du pétrole, de catalyseurs sont employés dans les opérations de cracking, de reforming, de traitement hydraulique, d'isomérisation, de cracking hydraulique, d'alcoylation et de polymérisation. Pour maintenir l'activité du catalyseur et pour préserver l'installation, les dépôts de carbone provenant de la cokéfaction du matériaux d'alimentation doivent être périodiquement brûlés, hors des catalyseurs à une température contrôlée (en-dessous de 870° K). La température est contrôlée par la vitesse limitée du courant d'air de combustion. Ceci amène la formation de CO. La régénération élimine les composés de soufre et d'azote. Le cracking est la seule opération qui demande une régénération assez fréquente pour produire d'importantes quantités de CO, mais dans quelques réactions les particules du catalyseurs circulent entre les zones de réaction et les zones de régénération et ainsi sont continuellement régénérées.



* Installation C avec torchère chargée de gaz d'échappement

Fig. 3-7. Concentrations de CO pendant le chargement et le déchargement[29]

Les unités de cracking catalytique sont de deux types : les unités de cracking catalytique par fludisation (CCF) et les unités de cracking catalytique Thermofor (CCT). Le CCF utilise un catalyseur en poudre et le CCT utilise des cordons de soudure ou de la ferraille. Dans le réacteur du CCF qui consiste en un large cylindre vertical, une couche de catalyseur en poudre est fluidifiée par le flot vaporisé de l'alimentation en matière ; le régénérateur qui est un récipient similaire peut être au-dessus, en-dessous ou derrière le réacteur. Le débit du catalyseur, circulant continuellement, est démuni de vapeurs d'hydrocarbures par la vapeur du réacteur et il est alors entraîné par le courant d'air vers le régénérateur qui lui injectera de l'air en plus pour perte de feu. Les vitesses de perte de feu varient avec la taille de l'unité de 0,630 à 4,28 kg/s. Le courant du catalyseur régénéré est continuellement retourné au réacteur où une appréciable température fournit la quantité de chaleur requise pour le cracking.

L'alimentation en catalyseur régénéré et vaporisé pénètre au sommet de la chambre du réacteur et se dirige conjointement vers la base du récipient où le catalyseur est poussé par gravité dans le régénérateur. Depuis la base du régénérateur, le catalyseur est retourné vers un ascenceur à air (autrefois par un élévateur à godets) à un cône de surtension au-dessous du réacteur. Une unité CCT de taille moyenne à une vitesse de perte de feu de 0,442 kg/s.

Le taux d'émissions à partir des différentes unités montre de considérables variations, les facteurs d'émissions moyens ont été déterminés comme suit : Pour les unités CCF 39,2 kg de CO par m^3 d'alimentation fraîche ; et pour les unités CCT 10,9 kg de CO par m^3 d'alimentation fraîche.[30] Une récente étude donnait le total des débits estimés en 1967 des unités de cracking catalytique aux Etats-Unis ainsi qu'il est montré dans le Tableau 3-13.

A partir des précédentes sources d'émissions, des statistiques des débis et du facteur 0,9 qui révèle le débis par courant par jour susceptible d'être chargé par jour-calendaire, le CO produit fut estimé à 6,8 Gkg par an par les unités CCF et de 0,383 Gkg pour les unités CCT et Houdri.

La production totale des unités catalytiques et d'hydrocracking en BRD était de 6,635 Gkg en 1971.[31] Le gaz régénéré qui s'échappe depuis ces unités contient 6 à 8 pour cent du volume de CO qui est généralement brûlé.[32]

3.2.2.2 Les Installations à Coke Fluide--Une unité qui produit une cokéfaction fluide ressemble à une unité CCF dans le sens où une couche de solides fluidifiés est utilisée pour transférer la chaleur à un matériaux d'alimentation partiellement vaporisé. Il diffère dans le sens où les particules solides utilisées sont du coke produit à partir du cracking.

Un mince film liquide de coke fluidifié est agité entre 750 et 840 K par élévation des produits gazeux dans le réacteur.[33] Le flot des particules de coke est continuellement ramené en arrière, dépouillé de vapeur, et véhiculé vers un brûleur où la couche de coke est maintenue à une température de 870 à 920 K. Le flot de coke à cette température est retourné au réacteur. Plus de coke est formé dans le réacteur qu'il n'en est brûlé; par conséquent, le flot de coke est ramené en arrière. Parce que le coke est brûlé sous certaines conditions de limit d'air, et en tenant compte de la quantité de carbone présente, le gaz du carneau est riche en CO.

Tableau 3-13. - RENDEMENT DU CRACKING CATALYTIQUE AUX ETATS UNIS

Type d'unité	Total d'alimentation en m^3/jour de courant	Pourcentage de récyclage
CCF	729 000	29,9
CCT	120 000	29,0
Houdri	31 800	29,2

Les émissions de CO s'élèvent en moyenne à 85 kg/m^3 d'alimentation fraîche.[34] En 1960 le débis total des installations américaines à cokéfaction fluide était de 16000 m^3/jour.[35] Sur cette base, le total de CO était 0,5 Gkg/an. Les émissions de CO estimées (Voir Tableau 3-1) indiquent que les chaudières sont souvent utilisées pour brûler le CO dégagé lors de la cokéfaction fluide.

3.2.3 L'Industrie Chimique

L'oxyde de carbone peut être utilisé comme matière brute pour la synthèse de produits chimiques tels que le méthanol et le phosgène. Il peut être aussi produit comme sous-produit dans la fabrication des gas de synthèses (hydrogène ou mélange d'hydrogène et d'azote). Dans le cas du phosgène, le CO est soit éliminé ou plus communément s'oxyde en CO_2 ou réduit en méthane.

Une partie de CO est produite dans l'air d'oxydation des hydrocarbures pour produire de l'acide maléïque, de l'acide phtalique, de l'acide téréphtaléïque et du cyclohexanol.[36]

Le Tableau 3-14 compare la contenance en CO et en hydrogène des différents gaz industriels; les trois derniers sont des gaz de synthèse bruts et non purifiés. Le reforming à la vapeur du méthane est préféré aux Etats Unis où il y a d'importantes provisions de gaz naturel bon marché.[37] L'oxydation partielle est plus souvent utilisée en Europe.

La production estimée de CO causée par l'industrie chimique est aux Etats Unis légérement plus importante que 6 Gkg/an.

La plupart de CO produit par les fonctionnements des installations chimiques en BRD provient de la production de formaldéhyde et de noir de fumée, et s'élève à à peu près 80 Mkg par an.

3.2.3.1 Gaz de Synthèse--La plupart de l'hydrogène (H_2) utilisé par l'industrie chimique américaine est produite par reforming à vapeur; le gaz naturel (C_nH_m) est la source d'hydrocarbure la plus fréquemment utilisé. La réaction de

Tableau 3-14. CONTENANCE EN OXYLE DE CARBONE ET EN HYDROGENE DE QUELQUES GAZ INDUSTRIELS AUX ETATS UNIS

(Volume pour-cent)

Gaz	CO	H_2
Four à coke	6,3	53
Haut fourneau	27,5	
Gaz à l'eau	42,8	49,8
Réformeur de méthane	15,5	75,7
Combustion partielle du méthane	35,6	61,5
Combustion partielle du pétrole	47	47

régénération de gaz de synthèses pour des produits tels que le méthanol, l'ammoniaque et l'hydrogène fabriqué, implique nécessairement la création et la manipulation de CO. La réaction générale de base est:

$$C_nH_m + nH_2O \rightarrow nCO + \frac{2n + m}{2} H_2.$$

Cette réaction générale s'applique au méthane de façon suivante:

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2 .$$

La réaction est favorisée par une haute température et une basse pression, mais les installations modernes opèrent à des pressions de 3,1 MN/m^2 (manomètre étalon) ou plus pour des raisons économiques et les réformeurs de gaz (des fours ayant des tubes en alliages contenant un catalyseur à base de nickel) fonctionnent généralement à une température de 1 030 à 1 260 K.[37] Le gaz le plus souvent nécessaire est l'hydrogène. Après le reforming par le vapeur, le CO peut être éliminé par la réaction de changement d'eau en gaz,

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 ,$$

et le CO_2 est supprimé par épuration par voie humide. Cette réaction n'est pas

affecté par la pression, mais est favorisée par de basses températures qui réduisent la vitesse de réaction. Des catalyseurs à basse température (en dessous de 530 K) fortement activés, éliminent la plupart du CO à une vitesse raisonnable en une seule étape de déplacement. Les petites quantités de CO et de CO_2 résiduelles peuvent être éliminées par méthanation:

$$3H_2 + CO \rightarrow CH_4 + H_2O \ .$$

Cette réaction est portée à des températures élevées par un catalyseur à nickel et peut réduire du CO jusqu'à moins de 10 ppm.[37]

Dans un autre type de "reforming" (par exemple, pour du naphte et du gaz naturel), les hydrocarbures sont brûlés sous des conditions réduites:

$$C_nH_m + \frac{n}{2}O_2 \rightarrow nCO + \frac{m}{2}H_2 \ .$$

Le pourcentage de CO dans les gaz de synthèses bruts augmente avec le rapport C:H de l'hydrocarbure. Des résultats caractéristiques avec 95 pour-cent d'oxygène pure comme oxydant sont donnés au Tableau 3-15.

Tableau 3-15. - COMPOSANTS DE GAZ DE SYNTHESE AUX ETATS UNIS[38]

(volume pour-cent)

Gaz de synthèse	H_2	CO
Gaz naturel	60,9	34,5
Naphte	51,6	41,8
Huile lourde	46,1	46,9

3.2.3.2 Le Méthanol--Un gaz de synthèse peut être produit pour être utilisé directement dans la synthèse du méthanol sans les séparations et les ajustements réquis pour la fabrication de phosgène, d'ammoniaque et d'autres produits.

Théoriquement, la production en 1968 de méthanol synthétique aux Etats Unis, d'environ 1,7 Gkg,[39] demandrait une alimentation de 1,5 Gkg de CO, qui correspond à la demande minime pour cette production. La production en 1970 du méthanol en BRD était de 0,876 Gkg.[40] Le méthanol (CH_3OH) est synthétisé comme suit:

$$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$$

Cette réaction, favorisée par une haute pression et de basses températures, est exothermique. Des pressions de 31 MN/m^2 (manomètre étalon) et des températures jusqu'à 650 K ont été utilisées avec un catalyseur adapté; des convertisseurs de méthanol dans quelques installations modernes utilisent de nouveaux catalyseurs à base de cuivre permettant des fonctionnements à 4,8 MN/m^2 (manomètre étalon) et 530 K.[41] Le contrôle de la température est faite par dilution avec un gaz d'extinction ou du CO_2. Les impurtés sont éliminiées par projection sur l'abaisseur de pression et suivies par distillation. Le gaz qui ne réagit pas est recyclé par le compresseur et combiné à l'alimentation fraîche; les gaz inertes sont purgés pour prévenir leur reformation.

3.2.3.3 L'Ammoniaque--La production de l'ammoniaque aux Etats Unis en 1968 était d'environ 11,3 Gkg.[39] La quantité de CO nécessaire pourrait être au dessus de 3,6 Gkg si les gaz de sythèses de l'ammoniaque n'étaient produits par le procéssus de reforming à vapeur de méthane.

La production d'ammoniaque de 1970 en BRD était d'environ 1,8 Gkg.[40]

Pour la fabrication de l'ammoniaque, le CO est éliminé par un déplacement de gaz et les réactions de méthanation décrites au dessus, en tant que résidue de moins de 20 ppm, parce qu'à de plus grandes concentrations il empoisonne le catalyseur.

L'ammoniaque (NH_3) est synthétisée par la réaction suivante:

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3 .$$

Cette réaction est favorisée par une haute pression et de basses températures. Des pressions de 10 à 100 MN/m^2 et des températures de 670 à 760 K ont été utilisées. Pour obtenir le mélange azote-hydrogène requis, l'hydrocarbure gazeux subit une réaction à deux niveaux: Au premier niveau une partie du gaz est reformé avec de la vapeur, et au second le gaz qui n'a pas réagi est partiellement oxydé avec suffisamment d'air pour produire le rapport hydrogène-azote adapté.

3.2.3.4 Le Phosgène--Le phosgène ($COCl_2$) est fait à partir de CO et de chlore (Cl_2):

$$CO + Cl_2 \rightarrow COCl_2$$

Cette réaction exothermique est portée dans des tubes à refroidissement par eau rempli d'un catalyseur à carbone activé avec un léger excès de CO pour assurer une réaction complète du chlore. Les rendements excèdent 99 pour cent.

En 1967, il y avait 17 usines à phosgène aux Etats Unis[42] avec une capacité combinée de plus de 0,36 Gkg, une grande partie de laquelle était utilisée seulement dans l'usine même. Théoriquement, 0,107 Gkg de CO sont requis pour faire cette quantité.

Le système de fabrication du CO pour le phosgène est similaire à celui requis pour faire du méthanol, dans le fait qu'il possède un reformeur; il diffère, néanmoins, dans le fait qu'il demande de l'oxygène relativement pur et débarrassé de CO. Un schéma caractéristique des installations de lavage est proposé dans la Figure 3-8. Le CO contenu dans les gaz de synthèses bruts est purifié par absorption et désorption ou par des méthodes cryogéniques. Une méthode habituelle implique une absorption de CO à haute pression dans une liqueur spéciale de chlorures cuivreux et cuivriques et de carbonate d'ammoniaque:

$$Cu_2(NH_3)_4^{--} + 2CO + 2NH_3 \rightarrow Cu_2(NH_3)_6(CO)_2^{--}.$$

Le CO absorbé est libéré par libération de la pression. L'absorption est portée à une température proche de la température ambiante, et la température

est élevée pour aider la désorption. Dans ce système compliqué, le rapport cuivre cuivrique-cuivre cuivreux doit être tenu à un certain niveau et le gaz carbonique et les sulfures doivent être éliminés.[44] L'élimination est faite en avant du système à liqueur de cuivre en passant d'abord les gaz au travers d'un système d'amortisseur et d'excavateur, et ensuite en utilisant du mono-éthalamine ou du diéthalomine froids pour absorber le sulfure d'hydrogène acide et le gaz carbonique. Chauffer la solution amine dans une four à dépouillement la régénère. La fabrication du phosgène peut demander trois unités de manipulation de CO: le réformeur, l'unité amortisseur excavateur et l'appareil de purification par absorption du CO par la liqueur de cuivre. Néanmoins, l'usage relativement restreint du phosgène renvoie cette industrie à une des plus faibles sources d'émissions de CO potentiel.

Le phosgène est un matériau dangeureux--si dangeureux pour la vie--qu'aucune fuite ne peut être tolérée.

3.2.3.5 Acides Organiques[45]--L'oxyde de carbone réagissant avec certains alcools et des hydrocarbures insaturés forment des acides organiques. La réaction la plus importante est, peut être, la synthèse de l'acide acétique (CH_3COOH) depuis du CO et du méthanol (CH_3OH):

$$CH_3OH + CO \rightarrow CH_3COOH .$$

La synthèse a lieu en présence d'iodure cobaltéure acqueuse à une température d'environs 520 K et à une pression de 680 MN/m^2.[46] Pour une grosse installation, les besoins en CO sont de 19 Mkg par an, en excluant ce qui est nécessaire à faire le méthanol.[46] Les gaz des évents sont dégagés à une pression d'environ 1,03 MN/m^2 (manomètre étalon) et épurés avec l'alimentation en méthanol avant qu'ils ne soient canalisés vers l'approvisionement en carburant. Les sous-produits différents du gaz sont séparés de l'acide par distillation.

Une autre voie pour obtenir de l'acide acétique passe par l'oxydation catalytique de l'acétaldéhyde:

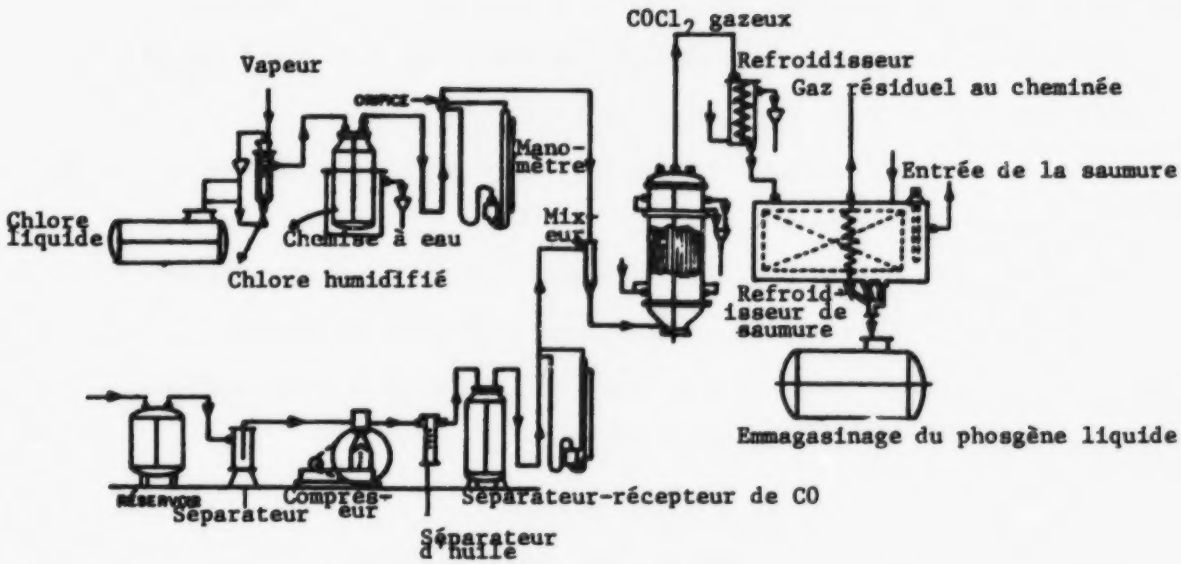
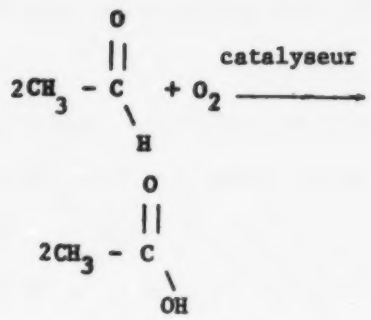


Fig. 3-8. La production de phosgène[43]



D'autres types d'acides organiques (RCH_2CH_2COOH) peuvent être synthétisés:

$$RCH = CH_2 + CO + H_2O \rightarrow RCH_2CH_2COOH \ .$$

Les acides insaturés acryliques,[46] pivaliques,[47] succiniques[48,49] et monobasiques[46] en sont quelques uns.

3.2.3.6 Les Aldéhydes--L'oxyde de carbone réagit avec certaines oléfines (-C=C-) pour former des aldéhydes (-CHO). Les procédés suivants sont parmi ceux reconnus:

$$C_2H_4 + CO + H_2 \rightarrow C_2H_5CHO.$$

A une pression de 4,13 MN/m^2 et à une température de 400 K avec un catalyseur au cobalt dans un Kiesel, le rendement de propioaldéhyde (C_2H_5CHO) se situe au delà de 75 pour-cent.[50] Du butyraldéhyde normal (C_3H_7CHO) est formé avec du coblat naphthenate à une température de 425 K et une pression de 3,5 MN/m^2:[51]

$$C_3H_6 + CO + H_2 \rightarrow C_3H_7CHO \ .$$

Le procédé Oxo est d'une importance commerciale, spécialement en Europe; les aldéhydes peuvent être fabriqués à partir d'oléfines, de CO et d'hydrogène:[46]

$$RCH = CH_2 + CO + H_2 \rightarrow RCH_2CH_2CHO \ .$$

Les transformations à partir des oléfines correspondent à plus de 95%. A une température de 420 K et à une pression de 25,4 MN/m^2, avec un catalyseur au cobalt, quelques sous-produits sont formés; ceux si doivent être séparés

par distillation. Des alcools sont produits par hydrogénation au cours d'une étape séparée du processus.

La fabrication de formaldéhyde (HCHO) consomme à peu près 40 pour-cent de tout le méthanol produit annuellement aux Etats Unis.[39] La vapeur de méthanol et de l'air traversent un catalyseur brûlant à une pression de 100 kN/m^2, et les gaz sont absorbés dans de l'eau. La réaction suivante peut se produire, dépendant du type de catalyseur:

$$CH_3OH \rightarrow HCHO + H_2 \text{ et } CH_3OH + 1/2\ O_2 \rightarrow HCHO + H_2O\ .$$

Attendu que HCHO est thermodynamiquement instable, il tend à se décomposer sous les conditions de réaction en CO et H_2. Toujours une certaine quantité de CO est formé. Les gaz produits vont directement dans les épurateurs par voie humide; le CO reste dans les gaz d'échappement épurés.

3.2.3.7 Autres Composés Organiques--Un certain nombre de composés organiques ont été étudié et mis en évidence. Au moins une installation à l'étranger fabrique du butanol (C_4H_9OH) comme suit:[46]

$$C_3H_6 + 3CO + 2H_2O \rightarrow C_4H_9OH + 2CO_2\ .$$

Les conditions de réactions se font à une température de 370 K et à une pression de 1,54 MN/m^2 (manomètre étalon) avec un mélange catalyseux contenant du fer pentacarbonyle. Les sous-produits (propane, CO_2 et hydrogène) sont purgés avec une certaine quantité de CO au travers d'un séparateur par lavage. La plupart du CO est recyclé dans la réacteur.

Le formanide dyméthyle ($(CH_3)_2NO\ CH$), qui est un solvant puissant et souple, peut être produit à partir de la réaction suivante:[52]

$$(CH_3)_2NH + CO \rightarrow (CH_3)_2NO\ CH$$

Cette réaction demande une température d'environ 330 K, une pression de 0,6 MN/m^2, et un catalyseur à méthylate de sodium.

Le cétone de diéthyle ($C_2H_5COC_2H_5$) peut être produit par une réaction impliquant du CO:[53]

$$2C_2H_4 + CO + H_2 \rightarrow C_2H_5COC_2H_5 .$$

Mais le rendement en est de 20 pour-cent seulement.[45]

Le propos précédent indique que le CO est un important stock d'alimentation pétrochimique. Son utilisation peut augmenter dans de grandes proportions au future. Elle est utilisée en des quantités énormes dans l'industrie de l'acier: 82 Gkg par an depuis des fours à fonte brute et 2,1 Gkg par an pour des fours à oxygène basique. Une variété de gaz de synthèse pourait être fabriqué à partir de gaz, utilisant la vapeur et le coke chaud.

Toutes les émissions de CO de l'industrie utilisant des procéssus chemiques viennent directement ou indirectement de procédés utilisant des gaz de synthèse qui contiennent toujours des gaz inertes. Une fois que les gaz réactifs sont consumés, les gaz inertes se forment, mais ils sont habituellement épurés, grâce à un système qui insouffle continuellement un petit pourcentage du flot total du gaz. Le gaz réagissant correspond à un pourcentage considérable du flot d'épuration; si le gaz réagissant est du CO, l'épurateur est donc une source importante de CO. Une usine de tête estime que les émissions de CO, y compris celles faites au moment de l'épuration, varient de 0,1 kg/1 000 kg de méthanol produit dans une installation modèrne à voie unique à 7,5 kg/ 1 000 kg dans une installation relativement ancienne, à voie multiple.[54] Si 70% du méthanol de 1968 était produit dans des installations modèrnes à voie unique, le total des émissions de CO auraient été de moins de 3,6 Mkg. En plus des émissions citées au dessus, une installation à 0,55 Mkg par jour de méthanol peut dégager (depuis les hautes cheminées durant les heures de mise en marche, d'arrêt et de circuit de refoulement) un mélange de H_2 et de CO contenant une pression d'environ 4,7 Nm^3/s.

Les émissions de CO contiennent environ 0,05 kg/kg de formaldéhyde produit.[54] Les émissions bassés sur les statistiques de la production de 1967 s'élèvent à 31 Mkg. La quantité d'émissions en 1970 pour la BRD était de 21 Mkg.

L'oxyde de carbone n'est pas facile à brûler; par conséquent, des émissions sont souvent libérés quand il est utilisé en tant que carburant ou quand il est incinéré.[55,56] Les limites inférieures et supérieures de flammabilité sont de 12,5 et 74 pour cent par volume.

Les fuites, sources d'émissions et de perte économique, sont un problème continuel pour la fonctionnement et l'entretien.[57] Les fuites se produisent à partir d'obturations telles que dans des presses-étoufes pour des agitateurs et des pompes, et au niveau des ventilateurs et du compresseur des cuves; les soupapes peuvent fuir à partir des tiges de garniture ou d'un siège de soupape d'éfficient. Les brides et les garnitures d'étanchiéîté peuvent créer des fuites, spécialement si toutes les conditions de chargement n'avaient pas été étudiées pendant leur élaboration.

Le fonctionnement des soupapes de sécurité peut libérer de grosses quantités de CO pendant une courte durée et une mauvaise remise en place de la soupape par où ont été soufflés les gaz peut prolonger l'émission. Les disques, qui sont quelquefois installés pour protéger l'appareil d'une pression trop forte, libèrent tout le gaz dans un système donné s'ils se rompent. Les soupapes et les disques sont tout les deux habituellement reliés à un système d'évacuation ayant une torchère ou une cheminée. Une rupture libère du gaz directement dans l'atmosphère.

Dans des systèmes à hauts pressions fonctionnant aux environs de la pression atmosphérique, le CO et les autres gaz peuvent être libérés en quantité temporairement forte à travers des creusets à joints hydrauliques.

3.2.4 Fabrication du Noir de Fumée

L'industrie américaine du noir de fumée a augmenté de 4 pour cent par an[58] de 1945 à 1965. A la fin de 1967, les neuf producteurs de cette industrie avaient 35 installations d'une capacité de production de 1,42 Gkg par an.[59] La production réelle de 1967 totalisait 1,13 Gkg. En 1968, deux installations plus importantes furent mises en fonctionnement, chacune ayant un débit de 45,4 Mkg par an.[60,61]

La production de la BRD en noir de fumée était de 240 Mkg en 1970 et de 260 Mkg en 1971.[62] Environ 90 pour cent du noir de fumée est produit par des procédés utilisant des fours à pétrole (industrie du caoutchouc). D'autres procédés utilisés dans l'industrie de la peinture et de l'encre sont : le procédé à flamme noire, le procédé DEGUSSA-CK, le procédé à arc électrique et le procédé à acétylène noir.[63]

Environ 93 pour cent du noir de fumée produit est utilisé dans l'industrie du caoutchouc pour le réenforcer (pour le prémunir d'une résistance à l'abrasion et retarder l'usure dans des produits tels que les pneus). Dans les industries de la peinture et de l'encre, il est un colorant. Il a d'autres utilisations dans l'industrie de l'alimentation, des plastiques et du papier.

Le noir de fumée est produit par rupture partielle de certains hydrocarbures et par cracking thermique (procédé thermique), ou par combustion incomplète (procédé à fours et au tunnel). Tous ces procédés peuvent produire du CO.

Aux Etats Unis, 6 pour cent du noir de fumée est produit par le procédé au tunnel, 12 pour cent par le procédé thermique et 82 pour cent par le procédé à four. La Figure 3-9 est un schéma direct d'une installation à noir de fumée. Du CO peut être émis depuis des fuites dans les cyclones, dans les manches en toile à voile, dans le système d'échappement après le ventilateur, ou après les conduites réliées entre elles. Une partie du CO prise dans les particules de noir de fumée peut s'échapper dans le broyeur ou s'accumuler, mais la quantité serait mineure comparée à celle qui se libère à Pârtir du système d'échappement.

3.2.4.1 Noir au Tunnel--Le noir au tunnel est produit par la mise en contact d'une flamme allumée au gaz naturel avec une plaque de fer relativement froide ou avec un tunnel. Parce que la distance entre l'embout d'où s'échappe le gaz et le tunnel est trop court pour permettre une combustion complète, le carbone non brûlé est déposé dans le tunnel. Fabriqué continuellement dans des "enceintes chaudes" contenant 2 000 à 4 000 flammes, le noir est automatiquement râché des tunnels mobiles et envoyé vers un système de manipulation du produit. Chaque "enceinte chaude" utilise 4 300 à 7 400 m^3 de gaz naturel par jour.[64] Chacune maintient une température de 810 K à cause du tirage naturel du bâtiment. Le rendement de noir de fumée est d'environ 0,04 kg/m^3 de gaz.[64] Récemment, à cause de l'augmentation du prix du gaz naturel, le gaz a été enrichi par des produits recyclés fissurés et de huile distillée. Le rendement à partir de ces huiles est d'environ 120 kg/m^3.

Le CO est émis directement dans l'atmosphère depuis ces enceintes chaudes; donc, il n'y a pas de méthode pratique pour déterminer avec précision la quantité émise. Tout le CO produit est dégagé en tant que CO parce qu'il ne s'oxyde pas aisément dans les stipulations du procédé. Une estimation brute des émissions de CO est 54,5 Mkg/an.[64]

3.2.4.2 Noir de Fumée d'Origine Thermique--Le noir de fumée d'origine thermique est produit par décomposition de gaz naturel en l'abscence d'air ou de flamme. Un four à empilage est chauffé de 1 590 à 1 800 K, le carneau est fermé et le gaz est admis dans le générateur où il est décomposé en carbone et en petites quantités de CO, de CO_2, de méthane et d'azote. Le noir de fumée thermique du fourneau est refroidi et recueilli. Le cycle complet prend environ 10 minutes, le temps étant divisé à peu près également entre le cracking et le chauffage.[64] Quand le fourneau devient froid, l'arrivée du gaz est fermée et le fourneau est réchauffé avec les gaz (principalement de l'hydrogène) produits au cours du procédé de cracking. Théoriquement, 0,505 kg de noir de fumée et 2 m^3 d'hydrogène devrait être produit par m^3 de méthane si le gaz

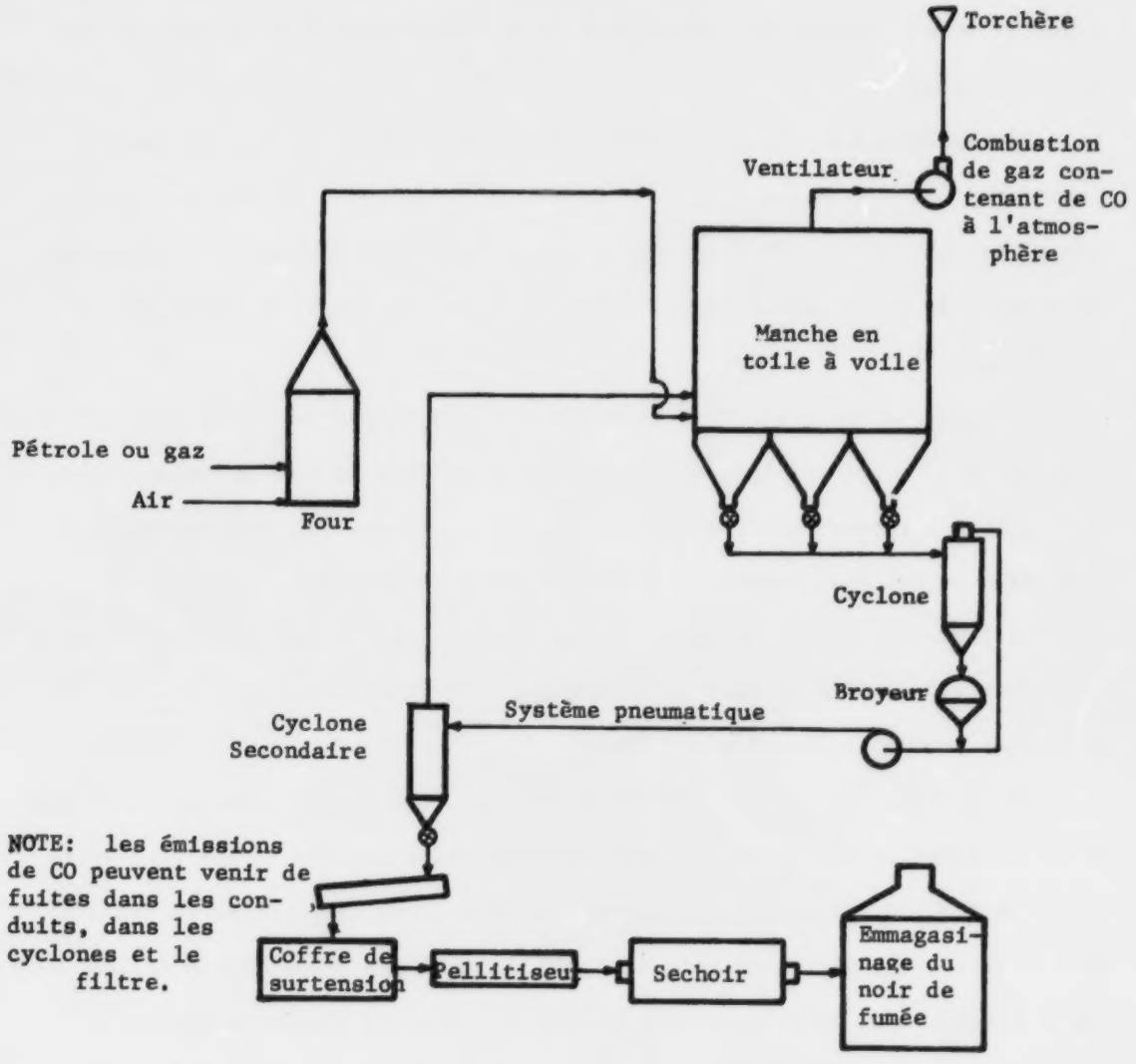


Figure 3-9. Schéma caractéristique d'un fabrique de noir de fumée

naturel est entièrement du méthane. Le rendement réel est de 40 à 50 pour cent (jusqu'à 0,254 kg/m^3 de gaz naturel)[64]. Le noir de fumée thermique est grossier et ne possède pas les propriétés de réenforcement et de colorant du noir au tunnel.

Les émissions de CO sont estimées à 24 kg/ 1 000 kg de noir de fumée thermique, ou à 3,2 Mkg/an depuis le procéssus thermique. Attendu que le gaz dégagé pendant le procédé de cracking est utilisé pour réchauffer l'empillage, la plupart de ce CO peut être plus tard oxydé en CO_2 durant la phase de réchauffement.

3.2.4.3 Noir de Fumée--Le noir de fumée est produit par la combustion incomplète d'un carburant (pétrole ou gaz) dans un four de conception spéciale. A 1 480 K, le rapport air-gaz naturel (4,5:1) ne permet pas une combustion complète, et de cela résulte la production de noir de fumée; après que le noir de fumée ait quitté le four, il est refroidi, aggloméré et recueilli. Le rendement est de 25 à 30 pour cent pour les plus grosses particules et de 10 à 15 pour cent pour les plus petites.[64]

Quelquefois, le gaz est enrichi à l'huile. L'huile est préchauffé de 560 à 650 K; alors, l'air et le gaz sont éliminés selon un rapport constant et le poids de l'huile est varié pour laisser le four à une température de 1 650 K. Des différentes qualités de noir de fumée peuvent être produites en faisant varier la température et la vitesse dans le four ou alors la géométrie du four. On peut attendre un rendement de 55 pour cent.[64] Les fours à noir de fumée chauffés au pétrole tendent à prédominer dans l'industrie à cause de la technologie avancée et de l'augmentation du coût du gaz.[58]

Les émissions d'oxyde de carbone varient de 5 à 11 pour cent par volume dans les gaz d'échappement et correspondent à une moyenne de 0,28 kg/kg de noir de fumée produit.[64] On estime à 259 Mkg/an le CO dégagé depuis les fours à noir de fumée.

Les émissions en BRD sont d'environ 40 Mkg de CO produit par le procédé utilisant un four (facteur d'émission contrôlé de 0,20 kg/kg de noir de fumée).

3.2.5 L'Industrie de la Pâte et du Papier

L'émission d'oxyde de carbone à partir de moulin à pâte est souvent surveillie. Les sources en puissance sont les fours à récupération et les fours à chaux. On parle des chaudières chauffées à l'écorce et au carburant fossile ainsi que d'autres sources en puissance dans la Section 3.1 de : "Sources Fixes de Combustion de Carburant". (Stationary Fuel Combustion Sources).

3.2.5.1 Les Fours à Récupération--Tous les moulins à pâte utilisent un ou plusieurs fours pour récupérer les produits chimiques interessants et chauffer la source d'énergie venant de la lessive noire produite par le procédé de la digestion du bois et pour prévenir tout problème d'élimination des déchets et perte économique. Par exemple, la réduction du sulfate de sodium dans la liqueur de sulfure de sodium[65] produit un ionsodium soluble pour le procéssus de causticité de la chaux dans les fours à chaux.

Les émissions de CO estimées depuis les fours à récupération de pâte à papier sont de 635 Mkg/an,[66,67,68] ou de 0,03 kg/kg de pâte produite.[66,68] Un four individuel peut émettre jusqu'à 2 pour cent quand une quantité d'air insuffisante est fournie ou une proportion négligeable avec une quantité d'air suffisante.[69] En d'autres termes, des conditions réduites créent plus de CO qu'il n'en échapperait si de l'air additionné n'était pas admit au dessus de la zone de réduction pour oxyder le CO. Ainsi, si le four fonctionne comme prévu, une très petite quantité de CO est émise.

3.2.5.2 Les Fours à Chaux--Tous les moulins à pâte utilisent un ou plusieurs fours à chaux pour régénérer la chaux à partir du carbonate de calcium produit lors du processus qui rend la chaux caustique. Les émissions de CO depuis les fours à chaux sont estimés à 118 Mkg/an. Les taux d'émission sont estimés à 5 kg/1 000 kg de pâte produite.[67]

Les émissions de la BRD des tours à chaux sont estimés à 3 Mkg en 1970 (4,54 kg/1 000 kg de pâte). La production en 1970 était de 560 Mkg de pâte et de 5 Gkg de papier dans 13 installations.

3.2.6 Sources Industrielles Diverses

3.2.6.1 Les Fours à Carbure de Silicium--Le carbure de silicium (SiC) est une substance abrasive fabriquée par chauffage d'un mélange de sable (SiO_2) et de coke (C) à environ 2 470 K dans un four à résistance électrique (Voir la Fig. 3-10). La réaction se déroule comme suit:

$$SiO_2 + 3C \rightarrow SiC + 2CO \ .$$

La chaleur est produite par une résistance de la charge au flot d'un courant électrique. Les murs du four ne sont que temporaire; ils peuvent être enlevés de la charge après la fin du chauffage. Les gaz se dégagent de la charge poreuse et s'échappent dans l'atmosphère. Parce que la surface de la charge est relativement froide, une certaine quantité de CO non brûlé peut s'échapper.

Pour chaque kg de carbure de silicium formé, 1,4 kg, ou environ 1,12 m^3 de CO sont formés. Bien que la plupart du CO dégagé brûle au dessus du four, la combustion est incontrôlée et, indubitablement, une proportion considérable est dissipée dans l'atmosphère ambiant. Les fours à carbure de silicium n'ont habituellement pas de hotte pour recueillir le CO ou pour fournir un excès d'air qui diluerait les concentrations de CO.

La production de SiC en BRD en 1970 était de 30 Mkg environ.

3.2.6.2 Les Fours à Carbure de Calcium--Le carbure de calcium (CaC_2) est fabriqué quand du carbone solide (C) réagit avec la chaux liquide (CaO) dans la fonte qui est au dessus des pointes des électrodes d'un four à arc électrique. La réaction s'effectue à environ 2 370 K:

$$CaO + 3C \rightarrow CaC_2 + CO \ .$$

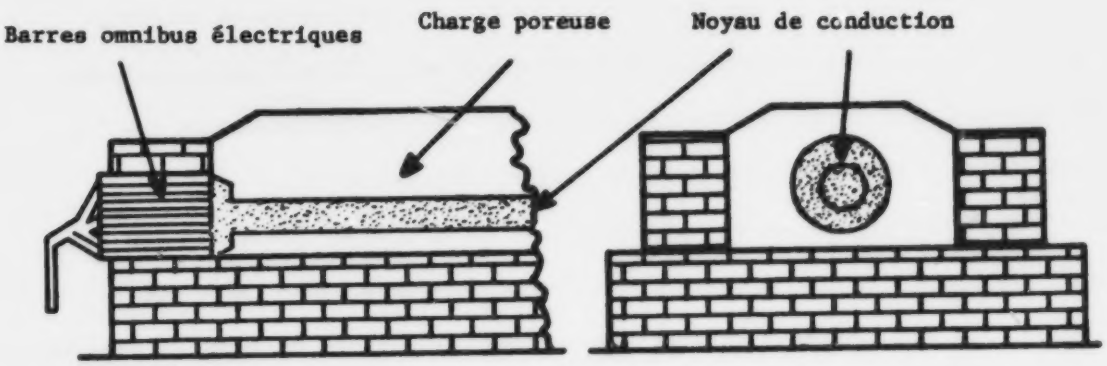


Fig. 3-10. Four électrique pour la production du carbure de silicium.

Les gaz qui sont formés s'échappent au travers de la charge poreuse. Des matières brutes de haute qualité sont nécessaires parce que peu d'impuretés sont éliminées durant la fabrication. Ou du coke métallurgique, ou du coke de pétrole, ou de l'anthracite peuvent être les sources de carbone. Le carbure de calcium liquide est déplacé depuis le bas du four.

Les fours à carbure de calcium sont essentiellement les mêmes que les fours à ferroalliage et peuvent avoir une hotte pour recueillir le CO dégagé. Parce que le gaz d'échappement doit être épuré, même s'il est utilisé comme carburant de chaudière, l'économie de récupération est limitée. Une ventilation et un contrôle adéquate sont nécessaires pour prévenir de concentrations hazardeuses de CO dans les surfaces de fonctionnement.

Les procédés de combustion compétitifs pour la fabrication de l'acétylène ont largement supplantés le carbure de calcium en tant que source de matériel pour la fabrication de l'acétylène. Le coût supplémentaire de l'investissement et des dépenses pour le contrôle de la pollution n'est probablement pas recouvrable par l'augmentation des prix du carbure de calcium.

La production de carbure de calcium en BRD en 1970 était d'environ 900 Mkg.[70]

3.2.6.3 Fours à Phosphore Elémentaires--Tout le phosphore élémentaire est fait par un procédé utilisant un four électrique: un mélange de roche de phosphate, de sable et de coke en excès est chauffé dans un four à trois électrodes (trois phases) à un température d'environ 1 770 K ou à une pression légèrement en dessous de la pression atmosphérique (Fig. 3-11). L'équation suivante représente la réaction totale:

$$4\ Ca_5F(PO_4)_3 + 18\ SiO_2 + 30\ C \rightarrow 18[CaO \cdot SiO_2 \cdot 1/9\ CaF_2] + 30\ CO + 3\ P_4 .$$

L'excès de carbone est nécessaire pour réduire le fer qui peut être chargé ainsi qu'une petite quantité de silicium.[71] Les gaz qui s'échappent sont tout d'abord du CO mais ils contiennent tout le P_4 indésirable (sous forme de gaz) de la poussière, et un peu de SiF_4 (sous forme de gaz): la poussière est

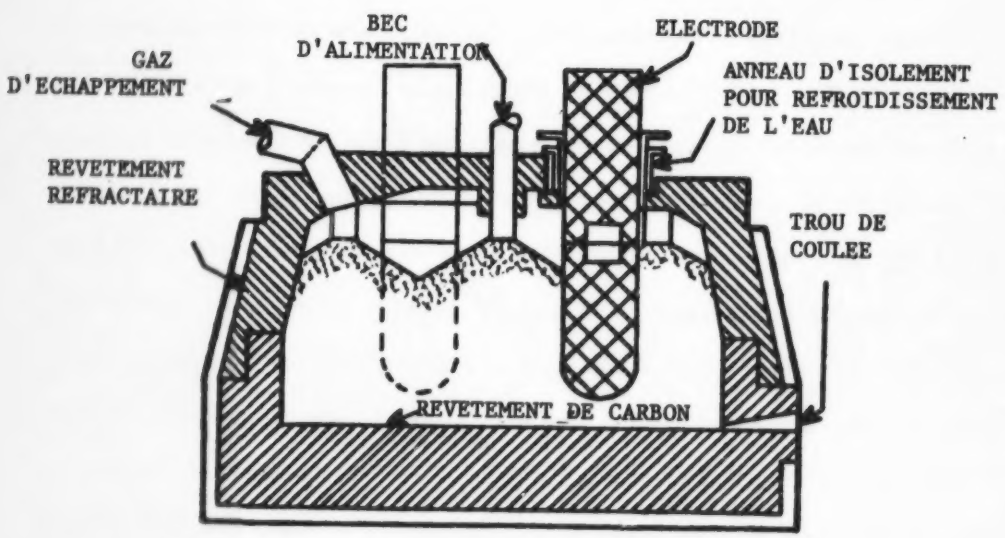


Fig. 3-11. Schéma d'une four électrique pour la production de phosphore élémentaire.

éliminée dans un précipitateur électrostatique, après quoi le P_4 est condensé sous forme de liquide (point de fusion 320 K) dans un condensateur à eau. Le gaz résiduel est environ 90 pour cent du CO, l'équilibre correspond à l'hydrogène, l'oxygène et le méthane. Ce gaz est soit brûlé en tant que carburant dans un four à chaux et à roche phosphatée, ou dégagé si les fours sont hors de service. Les émissions seraient, donc, soit accidentelles et temporaires, soit le résultat de la combustion incomplète du gaz épuré.

En BRD, les électrodes "SODERBERG" sont utilisées au lieu des électrodes au carbone utilisées aux Etats Unis. Les Figures 3-12 et 3-13 montrent la construction du cylindre qui est rempli d'une masse spéciale (anthracite, coke et brai).[72]

3.2.6.4 Eléments de Réduction de l'Aluminium--L'aluminium est produite à partir de bauxite par électrolyse de l'alumine (Al_2O_3) dissoute dans un bain de cryolite fondue (Na_3AlF_6). Les impuretés sont enlevées du minerais pour empêcher leurs dépôts dans l'aluminium métallique; la cryolite rend le bain électriquement conductible; de petites quantités d'autres fluorures abaissent le point de fusion pour que l'élément puisse fonctionner à une température d'environ 1 220 K; l'aluminium métallique se sépare au niveau de la cathode de carbone et l'oxygène est dégagé au niveau de l'anode de carbone. Entre 250 et 600 kg de CO sont formés par 1 000 kg d'alumine produite, dépendant des conditions de fonctionnement dans l'élément.[68] Pour une production aux Etats Unis en 1968 de 2,9 Gkg d'aluminium, 0,72 à 1,7 Gkg de CO étaient formés. La plupart du CO brûle dès exposition à l'atmosphère ou dans des brûleurs de post-combustion des éléments ainsi équipés.

La production en BRD était de 0,309 Gkg d'aluminium en 1970. Le four Söderberg montré dans la Figure 3-13 utilise des électrodes horizontales et est totalement enclos pour permettre l'échappement des gaz et leur contrôle. Les émissions de CO dans la première production d'aluminium sont de 0,120 kg/kg d'aluminium.

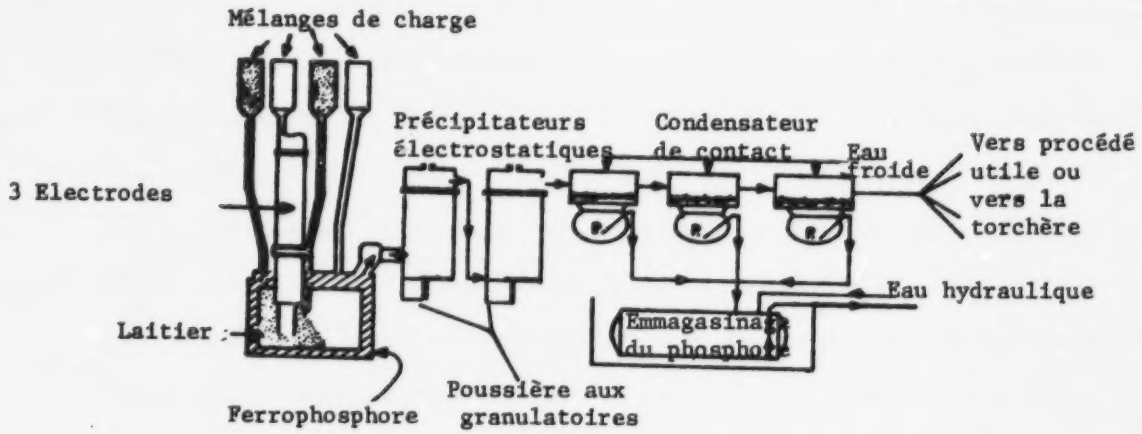
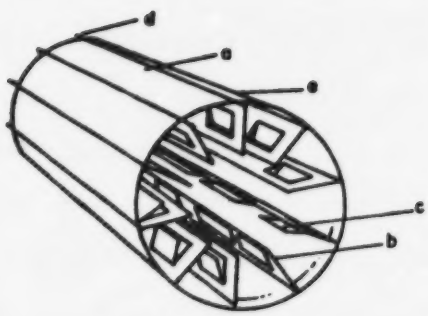


Fig. 3-12. La four à phosphore Söderberg



a Enveloppe
b Support
c Fenêtre
d Support de projection
e Clapet d'ouverture

Fig. 3-13. Enveloppe cylindrique pour électrode Söderbèrg

3.3 INCINERATION DES DECHETS ET AUTRES SOURCES DE COMBUSTION

Les Figures 3-14 à 3-20 montrent différents types d'incinérateurs. Dans un style de construction à plusieurs chambres (voir Fig. 3-16), les produits de combustion sont formés par de l'air allumé par en dessous rentrant en contact avec les déchets sur les grilles de la chambre primaire; dans la chambre de mélange, la phase de combustion du gaz est provoquée par admission d'air (jusqu'à 50% en excès) au dessus des déchets brûlants et quelquefois par installation de brûleurs auxilliaires pour fournir une chaleur de 1 030 à 1 250 K. Les gaz s'écoulent de la chambre primaire vers la petite chambre de mélange et alors vers une chambre secondaire plus grande où une oxydation complète se produit. La taille et la configuration varient avec le propos pour lequel elles ont été envisagées.[73,74]

Les résultats préliminaires d'une étude du Service Américain de la Santé Publique indiquent que la production de déchets solides domestiques, industrielles et commerciales, par habitant, est d'environ 0,45 kg/jour et 320 Gkg/an nationalement. Environ 170 Gkg/an (ou 2,4 kg/jour par habitant) sont recueillis pour être détruits; le reste est soit éliminé à l'oeuvre même, ou contrôler par les appareils ménagers ou l'établissement même.[75] On estime à 160 Gkg la quantité qui est brûlée en plein air ou dans des incinérateurs.[76]

Une quantité supplémentaire de 500 Gkg de déchets agricoles et de 1 Tkg de déchets minéraux sont produits chaque année.[75] Environ la moitié des déchets agricoles sont brûlés en plein air. A l'exception de 43,5 Gkg/an de déchets de charbon consumé par l'incendie, aucun autres déchets minéraux ne sont brûlés; les incendies de forêts et de bâtiments consomment respectivement 200 Gkg et 7,2 Gkg/an.[76]

L'incinération et la combustion à ciel ouvert sont utilisés pour réduire le poids et le volume des déchets solides. L'incinération à haute température avec excès d'air réduit les émissions de particules, de CO et de composés générateurs de brouillard tels que les aldéhydes, les hydrocarbures, et les

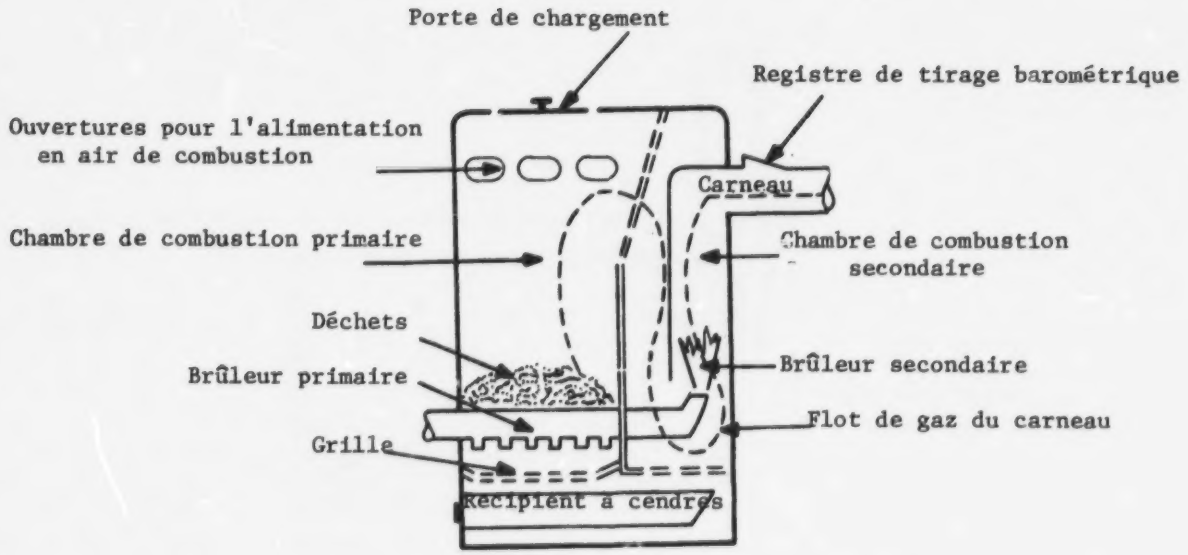


Fig. 3-14. Incinérateur domestique allumé au gaz.

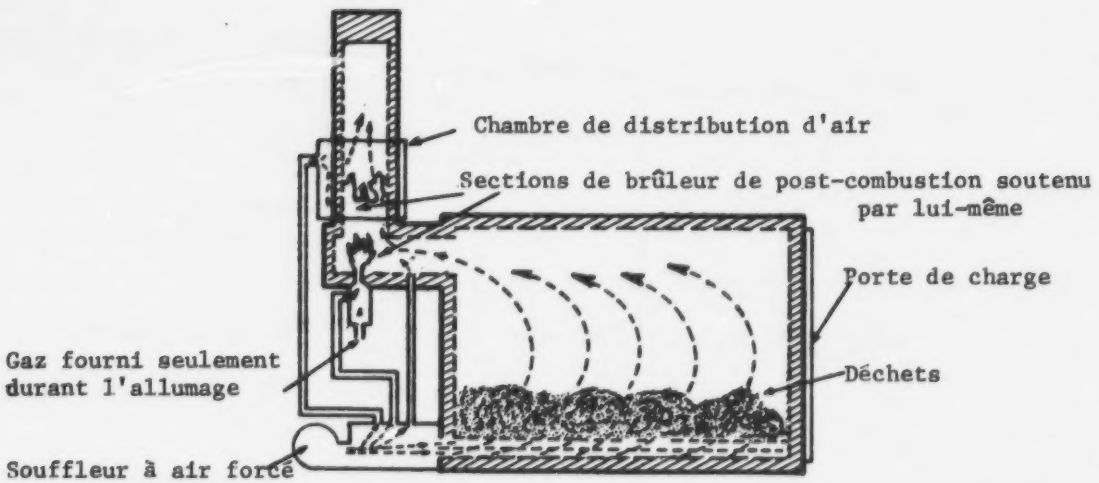


Fig. 3-15. Incinérateur à une chambre.

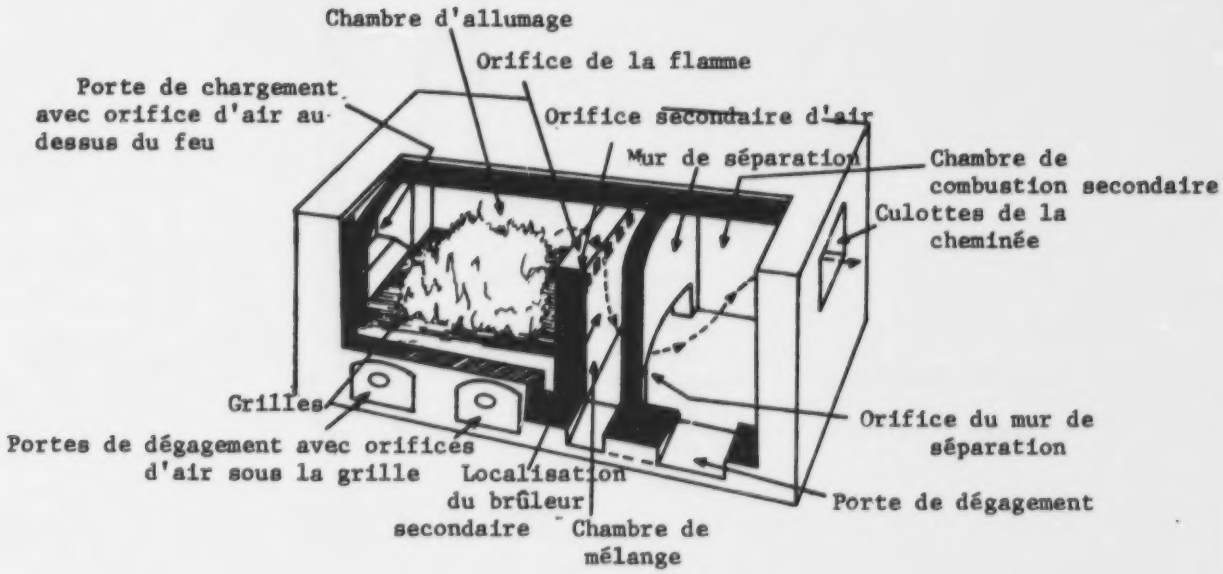


Fig. 3-16. Coupe d'un incinérateur à chambres multiples alignées

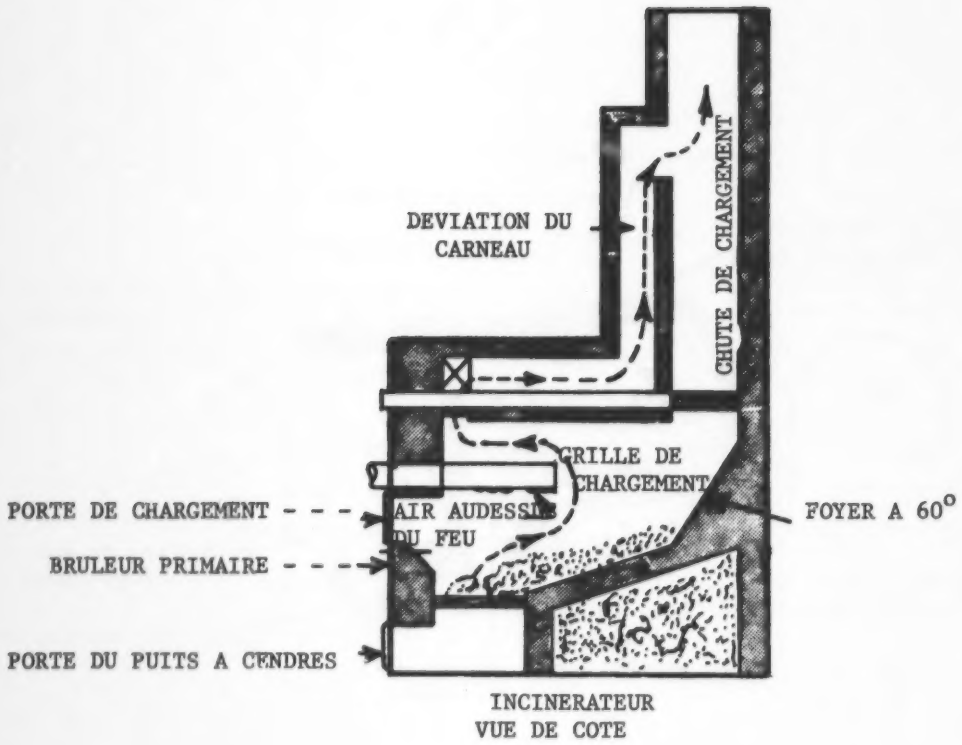


Fig. 3-17. Coupe d'un incinérateur à alimentation par cheminée

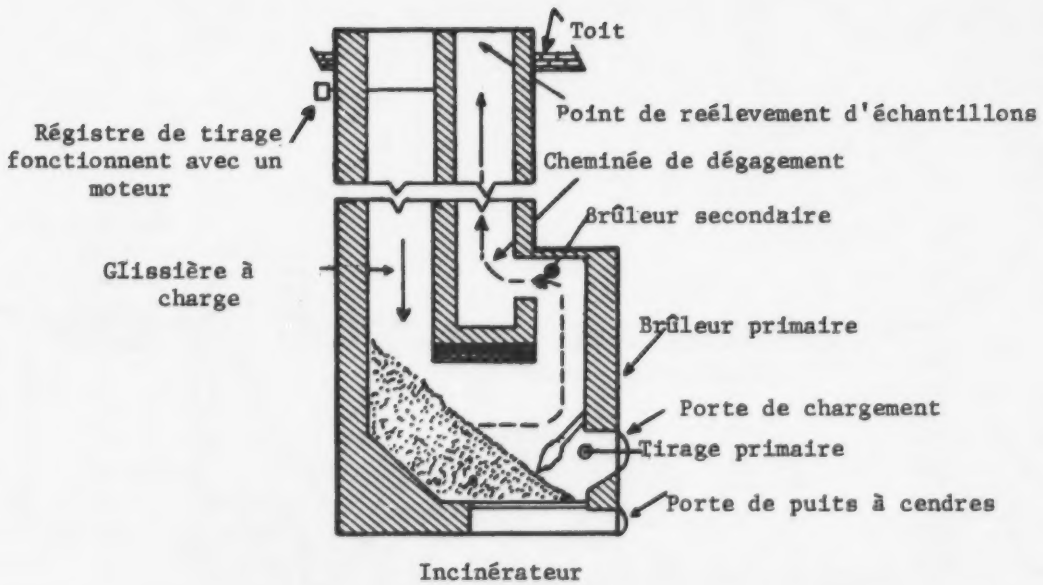


Fig. 3-18. Coupe d'un incinérateur d'appartement à glissière

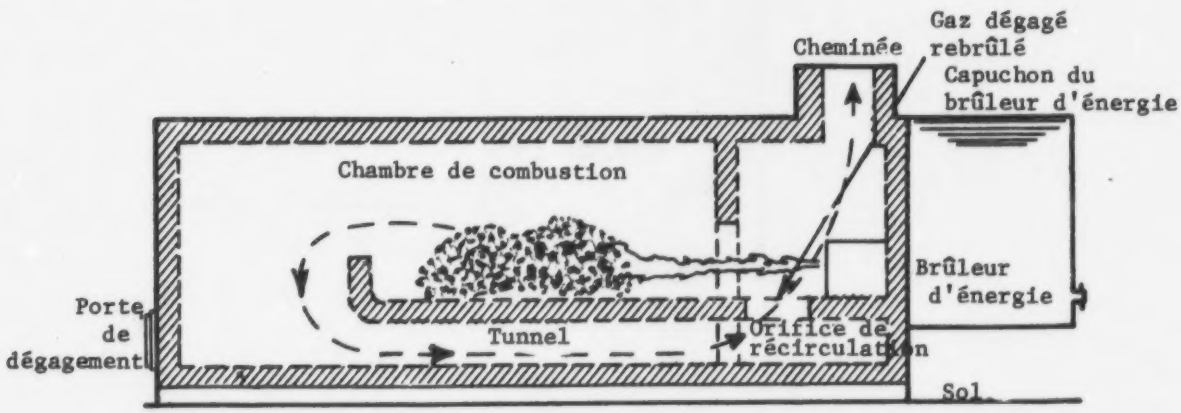


Fig. 3-19. Section d'un incinérateur déficient

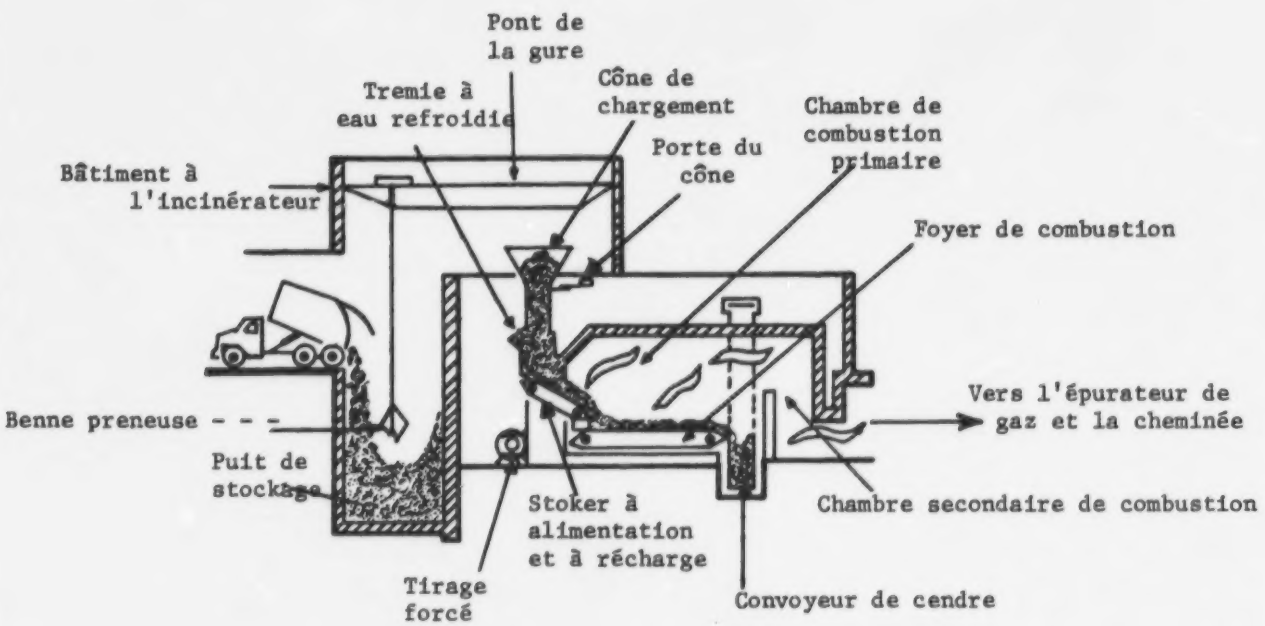


Fig. 3-20. Coupe d'un incinérateur municipale

acides organiques (qui symbolisent la combustion à ciel ouvert), mais augmentent les émissions d'oxyde d'azote. Les émissions de CO de l'incinération et d'autres techniques de combustion sont montrées dans les Tableaux 3-16 et 3-17.

Tableau 3-16. - EMISSIONS ESTIMEES EN 1968 DEPUIS L'INCINERATION ET D'AUTRES SYSTEMES DE COMBUSTION AUX ETATS UNIS[1]

Catégorie	Quantité Gkg/an	Emissions de C) Mkg/an
Incinération municipale	18	320
Incinération sur place	41	410
Remplissage de terre	22,6	0
Déchets en plein air:		
Brûlé	63,5	2 700
Non brûlé	118	0
Brûleurs coniques	27	1 760
Brûleurs sur place	32	1 350
Autre non brûlé	4,5	0
Total		6 540

Tableau 3-17. - DECHETS EN BRD (1970)[77]

Catégorie	Quantité Gkg
Domestique	16
Commercial	4
Industriel	2
Déchet de bâtiment	5
Mines et acier	20
Boue des égouts	18
Epave des voitures	1
Déchets agricoles	190
Total	260

3.4 REFERENCES

1. OAP Data File of Nationwide Emissions 1970. National Air Data Center, Applied Technology Center, Juillet, 1972.

2. Statistical Abstract of the United States: 1970. 91st Edition, U.S. Bureau of the Census, Washington, D.C., 1970.

3. Jahrbuch f. Bergbau. Energie Mineralöl und Chemie, 1971.

4. Preliminary National Power Survey Estimates. Federal Power Commission. Décembre 1969.

5. Statistik 1970, Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke, Ffm.

6. Dunphy, B. 1966 Oilheating Sales Analysis. Installations up 2.5% to 558,965. Fueloil & oil Heat. 26:29-35, Janvier, 1967.

7. F. Baum, Staub-Reinhalt. d. Luft 32 (1972) Nr. 2, S.54.

8. H. Schade, Schriftenreihe der LIB, Heft 26/1972 (UWD 30/72, S.6)

9. Emissions Kataster, Land Nord-Rhein-Westfallen.

10. Greaves, M. J., et A. English. Engineering Contributions to New Techniques of Iron Ore Agglomeration.Dans: Agglomeration, Knepper, W. A. (ed.), New York, Interscience Publishers, 1962. p. 419-453.

11. VDI Richtlinien, VDI 2095.

12. "Stat. Bundesamt, Düsseldorf-Eisen und Stahl."

13. McGannon, H. E. The Making, Shaping and Treating of Steel. 8th ed. Pittsburgh, U.S. Steel Company, 1964.

14. Schueneman, J. J., M. D. High, et W. E. Bye. Air Pollution Aspects of the Iron and Steel Industry. U.S. DHEW, PHS, Division of Air Pollution. Washington, D.C. PHS Publication No. 999-AP-1. Juin 1963.

15. VDI 2099.

16. Stat. Jahrbuch, Eisen und Stahl, 1971, S.10.

17. Eisen und Stahl, 4. Vierteljahresheft 1971, S.45.

18. Jackson, A. Oxygen Steelmaking for Steelmakers. London, George Newnes Ltd., 1964. 258 p.

19. A Systems Analysis Study of the Integrated Iron and Steel Industry. Battelle Memorial Institute. May 1969. Clearing House for Scientific and Technical Information. Accession No. PB 184576, PB 184577. Springfield, Va.

20. VDI Richtlinien, VDI 2112 (19f6).

21. Staub Reinhaltung d. Luft 32 (1972, S.53.

22. Air Pollution Engineering Manual, Danielson, J. A. (ed.). U.S. DHEW, PHS, National Center for Air Pollution Control. Cincinnati, Ohio. PHS Publication No. 999-AP-40. 1967.

23. D. Eickel pasch, Staub-Reinhalt. Luft 32 (1972), 52.

24. Minerals Yearbook 1967, Vol. I-II. U.S. Dept. of Interior, Bureau of Mines. Washington, D.C. 1968.

25. Electric Furnace Steelmaking, Vol. II. Theory and Fundamentals, Sims, C. E. (ed.). New York, Interscience Publishers, 1963.

26. DeCarlo, J. A., T. W. Hunter, et M. M. Otero. Coke and Coal Chemicals. In: Minerals Yearbook 1961. U.S. Dept of Interior, Bureau of Mines. Washington, D.C. 1962.

27. Eisen u. Stahl, 4. Vierteljahresheft 1971.

28. Powell, A. R. Gas from Coal Carbonization--Preparation and Properties. In: Chemistry of Coal Utilization, Lowry, H. H. (ed.). Vol. II. New York, John Wiley & Sons, 1945. p. 921-946.

29. H. W. Thoenes, Staub-Reinhalt. Luft 32 (1971), S.50.

30. Ozolins, G., et R. Smith. A Rapid Survey Technique for Estimating Community Air Pollution Emissions. U.S. DHEW, PHS, National Center for Air Pollution Control. Cincinnati, Ohio. PHS Publication No. 999-AP-29. 1967.

31. Jahresbericht 71, MWV/AEV.

32. VDI Richtlinien, VDI 2440.

33. Petroleum Processing Handbook, Bland, W. F., et R. L. Davidson (eds.). New York, McGraw-Hill Book Co.

34. OAP Data File of Nationwide Emissions 1970. National Air Data Center, Applied Technology Center, July 1972.

35. Saxton, A. L., H. N. Weinberg, et R. O. Wright. Get Cheaper Coking Now with this New Design. Petrol. Refiner. 39:157-160, Mai 1960.

36. Zu Drucksache VI/2710 des deutschen Bundestages; Materlialien band zum Umweltprogramm der Dundes-regierung; Bonn 1971.

37. Noyes, R. Ammonia and Synthesis Gas 1967. Park Ridge, Noyes Development Corp., 1967.

38. Synthesis Gas--Shell Development Co. Hydrocarbon Processing. 46: 227, Novembre 1967.

39. Elsbree, John J. Organic Chemicals. Chemical Engineering News. 46(37), 2 Septembre 1968.

40. Statistiches Bundesamt IV C 63, Industrielle Produktion im Bundesgebiet, Chemische Erzeugnisse.

41. 25th Inventory of New Processes and Technology. Chem. Eng. 75(15): 104, 15 Juillet 1968.

42. Oil Paint and Drug Reporter, 4 Mai 1964.

43. Winnacker-Küchler, Bd. 1, S.659.

44. Egalon, R., R. Vanhille, et M. Willemyns. Purification of Carbon Monoxide by Cuprammonium Carbonate Solutions. Removal of Carbon Monoxide by Cuprammonium Carbonate Solutions. Ind. Eng. Chem. 47: 887-889, Mai, 1955.

45. Sittig, M. Organic Chemical Process Encyclopedia 1967. Park Ridge, Noyes Development Corp., 1967.

46. Synthesis Gas--Shell Development Co. Hydrocarbon Processing. 46: 227, Novembre, 1967.

47. Friedman, B. S., et S. M. Cotton. Production of Acids and Esters. Sinclair Refining Co., U.S. Patent No. 3,005,846. Official Gazette. U.S. Patent Office. 771(4):1081, Octobre 1961.

48. Kurhajec, G. A., D. L. Johnston, et K. E. Furman. Production of Carboxylic Acids (Shell Oil Co., U.S. Patent No. 3,047,622). Official Gazette U.S. Patent Office. 780(5):1731, Juillet, 1962.

49. Natta, G., et P. Pino. Preparation of Succinic Acids (Lonza Electric and Chemical Works, Ltd. U.S. Patent No. 2,851,486). Official Gazette U.S. Patent Office. 734(2):484, Septembre, 1958.

50. Hagemeyer, H. J., Jr., et D. C. Hull. Process of Producing Oxygenated Organic Compounds (Eastman Kodak Co., U.S. Patent No. 2,784,167). Official Gazette U.S. Patent Office. 706(5):1221, Mai, 1956.

51. Jaros, S., et C. Roming, Jr. Production of Aldehydes and Alcohols. Esso Research and Engineering Co., U.S. Patent No. 3,119,876). Official Gazette U.S. Patent Office. 798(4):993, Janvier, 1964

52. Seefen, H. T., et W. R. Trutna. Low Pressure Production Formamides. (E. I. DuPont de Nemours and Co., U.S. Patent No. 2,866,822). Official Gazette U.S. Patent Office. 737(5):1265, Décembre 1958.

53. Staib, J. H., W. R. F. Guyer, et O. C. Slollerbeck. Ketone Synthesis. (Esso Research and Engineering Co., U.S. Patent No. 2,864,864). Official Gazette U.S. Patent Office. 737(3):719, Décembre 1958.

54. Documentation Privée avec J. L. Parsons. E. I. Du Pont de Nemours and Co. 11 Novembre, 1968.

55. Friedman, R., et J. A. Cyphers. On the Burning Rate of Carbon Monoxide. J. Chem. Phys. 25(3):448-457, Septembre 1965.

56. Singer, J. M., et al. Flame Characteristics Causing Air Pollution: Production of Oxides of Nitrogen and Carbon Monoxide. Bureau of Mines. Washington, D. C. Report of Investigations Number 6958. 1967. 34 p.

57. Mencher, S. K. Minimizing Waste in the Petrochemical Industry. Chem. Eng. Progr. 63:80-88, Octobre, 1967.

58. Horton, R. G. Carbon Black: Review and Forecast. Rubber World, 154(6):75-76. Septembre, 1966.

59. Harper, W. B. Carbon Black. Dans: Minerals Yearbook 1967. U. S. Dept. of Interior. Washington, D. C. 1967. p. 263-272.

60. Market Newsletter. Chem. Week. 103(21):41-42, 23 Novembre, 1968.

61. Del Gatto, J. V. Cabot Carbon Black Plant Goes Commercial. Rubber World. 158(5):56, Août 1968.

62. Statistisches-Bundesamt IV C 63, Industrielle Produktion im Bundesgebiet, Chemische Erzeugnisse.

63. VDI 2580.

64. Drogin, I. Carbon Black. J. Air Pollution Control Assoc. 18(4): 216-228. Avril 1968.

65. Britt, K. W. Handbook of Pulp and Paper Technology. New York, Reinhold Publishing Corp., 1964. 537 p.

66. A Study of Air Pollution in the Interstate Region of Lewiston, Idaho and Clarkston, Washington. Division of Air Pollution. Cincinnati, Ohio. PHS Publication No. 999-AP-8. Décembre 1964.

67. Control Techniques for Sulfur Oxide Air Pollutants. U.S. DHEW, PHS, CPEHS, National Air Pollution Control Administration. Washington, D. C. AP-52. Janvier 1969. 38 p.

68. Certe. N. Plaks to J. McGinnity, Division of Abatement, NAPCA. Subject : Control Techniques for Carbon Monoxide Emissions. 9 Décembre 19 .

69. Thoen, G. N., et al. The Effect of Combustion Variables on the Release of Odorous Sulfur Compounds from a Kraft Recovery Unit. TAPPI 51:329-333. Août 1968.

70. Statistisches Bundesamt IV C 63, Industrielle Produktion im Bundesgebiet, Chemische Erzeugnisse.

71. Burt, R. B., et J. C. Barber. Production of Elemental Phosphorus by the Electric Furnace Method. Tennessee Valley Authority. Knoxville, Tenn. TVA Chemical Engineering Report No. 3. 1952.

72. Winnacker-Küchler, Bd. 2.

73. Incineration. Dans: Air Pollution Engineering Manual, Danielson, J. A. (ed.). U.S. DHEW, PHS, National Center for Air Pollution Control. Cincinnati, Ohio. PHS Publication No. 999-AP-40. 1967. p. 413-503.

74. De Marco, Jack, et al. Incinerator Guidelines--1969. U.S. DHEW, PHS, CPEHS, Environmental Control Administration, Cincinnati, Ohio. SW--13TS. 176 p.

75. Black, R. J., et al. The National Solids Wastes Survey. Presented at 1968 Annual Meeting of the Institute for Solid Wastes of the Americal Public Works Association. Miami Beach, Fla. Oct. 1968.

76. National Air Pollution Control Administration, Reference Book of Nationwide Emissions. U.S. DHEW, PHS, CPEHS, NAPCA. Durham, N.C.

77. Zu Drucksache VI/2710 des deutchen Bundestages; Materialienband zum Umweltprogramm der Bundesregierung; Bonn 1971.

4. LES TECHNIQUES DE CONTROLE

Les techniques de contrôle des émissions de CO à partir de sources fixes employant la combustion de carburant comprennent la fermeture de la source, la substitution de l'énergie, la conservation de l'énergie, une bonne technique de fonctionnement et de différents types de systèmes mécaniques. Le déplacement de la source et de hautes cheminées peuvent être utilisés pour aider à la dispersion de CO. Les appareils mécaniques pour le contrôle des émissions depuis les sources à procédé fixe sont de loin les plus importants et c'est pourquoi ils englobent les sujets les plus importants de cette partie.

4.1 DEPLACEMENT DE LA SOURCE OU FERMETURE

Un déplacement de la source éliminera les émissions de CO depuis la localisation de la source originale, mais transférera tous les effets de la pollution atmosphérique vers un autre zone. Ordinairement, un déplacement de source est envisagé quand une nouvelle installation doit être construite pour remplacer une installation qui a crée des problèmes de pollution atmosphérique. Dans un procédé, le procédé de noir au tunnel dans la fabrication du colorant de l'encre noire, le déplacement de la source est la seule source de contrôle envisageable. Le procédé demande un tirage naturel à travers une "enceinte chauffée" et aucune tentative pour retenir les émissions depuis ces enceintes ne doit gêner le tirage naturel et reduire le rendement et la qualité du noir; c'est pourquoi la seule contrôle consiste à déplacer l'installation si les émissions (probablement en particules avant CO) deviennent trop importantes.

La fermeture des sources est une technique de contrôle sévère, mais elle ne devrait pas être completement sous-estimée si les niveaux de CO menaient la santé publique d'une façon urgente, ou si des ordres autorisés pour baisser les niveaux legaux des émissions restent ignorés.

4.2 SUBSTITUTION OU CONSERVATION D'ENERGIE

La substitution d'énergie implique le remplacement d'une carburant fossile

indésirable par un autre qui crée moins de pollution. La substitution d'unités chauffées au gaz ou au pétrole pour d'unités de type à grille brûlant de charbon ou des unités à foyer mécanique réduiraient les émissions de CO. La puissance hydroélectrique est trop limitée en croissance potentielle aux Etats Unis pour être considérée comme un substitué pour l'énergie à combustible fossile. La fabrication de puissance nucléaire même n'éliminerait pas entièrement les émissions de CO à cause du besoin en cas de secours des facilités de l'énergie utilisant du carburant fossile.

Il est parfois difficile de prédire les effets de l'énergie de substitution, compte tenu du fait que parmis les sous-produits, le besoin de chauffe diffère pour des applications en apparence identiques; par exemple, le besoin de chauffe pour un espace chauffé à l'électricité ou au carburant fossile diffère à partir du moment où les bâtiments qui sont chauffés électriquement sont normallement mieux insolés que les bâtiments chauffés au combustible fossile.

La discussion sur la substitution d'énergie est probablement académique pour des unités de taille importante et qui fonctionnent bien (par exemple, les centrales avec leur bas taux d'émissions); néanmoins, la conversion du carbon au mazout réduirait les émissions à partir des maisons et de nombreuses autres petits utilisateurs concentrés dans des surfaces limitées. Ainsi, la substitution de l'énergie peut être effective; elle a une valeur spéciale pour ce qui est de contrôle des sources à capacité basse pour lesquelles le coût d'un appareil d'épuration des gaz ne serait pas élevé. Le Tableau 4-1 donne les facteurs d'émissions estimés pour des unités à petit dégagement de chaleur (2,92 MJ/s);[1] pour le charbon, le taux relatif des émissions décroît avec l'importance croissante de l'unité de combustion.

La conservation de l'énergie réduit les émissions de CO en réduisant la consommation de carburant. En ce qui concerne les centrales thermiques créant de l'enérgie électrique, le Tableau 4-2 montre les tendances américaines pour

Tableau 4-1. TAUX D'EMISSIONS ESTIMEE D'OXYDE DE CARBONE DEPUIS DES CARBURANTS FOSSILES AU TAUX DE 2,92 MJ/s

(mg/s)

Carburant	CO
Charbon	252
Pétrole	1,69
Gaz naturel	0,04

Tableau 4-2. CONSOMMATION DE CARBURANT PAR HEURE-KILOWATT PAR DES AMENAGEMENTS ELECTRIQUES.[2]

Année*	Charbon (kg)	Pétrole $10^{-3}m^3$	Gaz m^3
1955	0,431	0,322	0,342
1960	0,399	0,296	0,308
1965	0,389	0,284	0,297
1968	0,395	0,288	0,292
1969 (prél.)	0,399	0,292	0,294

* Avant de 1975, Alaska et Hawaii sont excluent. L'utilisation de carburants pour des buts de ressources inclus.

Tableau 4-3. CONSOMMATION SPECIFIQUE D'AMENAGEMENTS ELECTRIQUES EN BRD[3]

Consommation réele				Consommation projétée	
Année	GJ/kg-kw-h	Année	GJ/kg-kw-h	Année	GJ/kg-kw-h
1950	21,7	1961	12,5	1971	10,5
1951	19,1	1962	12,3	1972	10,3
1952	17,8	1963	12,0	1973	10,2
1953	16,9	1964	11,7	1974	10,1
1954	16,2	1965	11,5	1975	10,1
1955	15,4	1966	11,2	1976	9,9
1956	14,9	1967	10,9	1977	9,9
1957	14,4	1968	10,8	1978	9,9
1958	13,8	1969	10,7	1979	9,8
1959	13,3	1970	10,7	1980	9,8
1960	12,8				

Tableau 4-4. CONTENANCE EN CHALEUR DES CARBURANTS UTILISES EN BRD[4]

Carburant	GJ/kg-kw-h
Charbon marron	11,5
Charbon dur	10,7
Pétrole	9,1
Gaz	9,1

l'amélioration de leur éfficacité--premièrement l'usage de plus hautes températures et pressions; les données correspondantes de la BRD se trouvent au Tableau 4-3. La capacité de chaleur caractéristique pour les carburants utilisés en BRD sont exposés au Tableau 4-4. De nouveaux développements tels que la magnétohydrodynamique, l'électrogazdynamique et l'élément carburant promettent une amélioration de l'éfficacité plus importante même que les améliorations actuelles.

4.3 BONNE TECHNIQUE DE FONCTIONNEMENT

Une bonne technique tient compte de la sélection approprié, les installations, le fonctionnement et l'entretient des installations de combustion pour minimiser les émissions de CO. Des guides sont publiés par les industries de carburant, les fabricants d'appareils, les associations du génie civil et les agences du gouvernement; de l'aide aux problèmes individuels pouvait être demandée depuis ces sources.

Une sélection des composés du système de combustion--le système de maintien du carburant, le système de tirage, le système de combustion du carburant, les carneaux et les cheminées, le système de contrôle des cendres et les contrôles de combustion--doivent être faites pour assurer le fonctionnement dans les limites prévues par le plan et pour prévenir une quantité excessive d'oxygène dans les gaz brûlés et des émissions excessives de CO. Pour cela, la charge doit être estimée avec précision, la capacité du système prévu par les plans doit être suffisante pour supporter le charge maximum, et il faut considérer une augmentation future dans les besoins en charge. La capacité minimum prévue pour une unité de système de combustion doit supporter les besoins d'une charge minimum et la totalité du système de combustion doit supporter n'importe quelle charge entre le maximum et le minimum. Une attention précise à l'égard de ces faits sert à éviter un excès de charge--un surchauffe, par rapport au taux prévu--ce qui est peut être la cause la plus importante des émissions de CO à partir d'une unité de combustion. Le plan d'un four (Tableau 4-5) et une méthode de chauffage par chaudière (Tableau 4-6) affectent la quantité des émissions de CO. Ainsi,

Tableau 4-5. LES EMISSIONS D'OXYDE DE CARBONE DEPUIS DES UNITES A CHARBON A ALLUMAGE PAR GRILLE[5]

Type d'unité	Taille d'unité (MJ/s)	Emissions de CO (µg/J)
Grille à chaîne	43,1	0,22
Stoker à pièce d'écartement	17,3	<0,04
Stoker à sous-alimentation	1,2	0,07
Stoker à sous-alimentation	0,88	0,06
Stoker à sous-alimentation	0,019	0,47
Stoker allumé à la main	0,033	1,51

Tableau 4-6. LES EMISSIONS D'OXYDE DE CARBONE DEPUIS DES UNITES A SUSPENSION ALLUMES AU CHARBON[5]

(ng/J)

Type d'allumage	Emissions de CO
Vertical	7,3
Coin	4,7
Mur avant	2,2
Stoker à pièce d'écartement	12,5
Opposé horizontallement	18,8

l'application correcte du principe de base de fonctionnement du plan d'un four peut baisser les demandes en carburant et diminuer d'une manière substantielle l'aspect de la pollution de l'air ambiant par du CO.

La sélection du système d'échappement est spécialement importante, attendu que l'échappement libère les produits de combustion dans l'atmosphère et maintient la pression dans le four et la vitesse de combustion. (Dans certains fours, une pression positive existe; dans d'autres, une pression égale à zéro ou légèrement négative). Si le carneau est trop petit, il gène le flot des gaz s'échappant et la combustion des produits et cause une contre pression qui gêne le flot de l'air vers la chambre de combustion, réduit la quantité de carburant qui peut être brûlée éfficacement, réduit également la température (peut éteindre la flamme) et la vitesse de combustion, et aussi cause la formation de CO. Si le carneau est trop grand, les produits de combustion quittent trop vite sous le tirage de la cheminée fixe, la pression du four décroit et un excès d'air pénètre dans la chambre. Résultat: perte de carburant, variation de la température et de la distribution de chaleur, et possible panne de l'allumage. Tout ceci augmente les émissions de CO, de charbon et de pétrole. Certaines conditions (telles que la haute température de la flamme) favorisent une combustion complète du carburant mais tendent à créer la formation d'oxydes d'azote.

L'installation de l'appareil ne devrait être faite que par du personnel qualifié. On doit prendre soin d'assurer que les plans et les instructions du fabricant soient suivis.

Le fonctionnement s'éffectue habituellement en accord avec plusieurs principes généraux; Les émissions de CO sont minimisées par (1) de hautes températures de combustion mais par de basse température affluente; (2) par le contact intime du carburant, de l'oxygène et des gaz de combustion; et (3) par la rapidité de réaction et un temps de résidence suffisant. Une bonne utilisation demande que ces principes soient suivis.

Des inspections periodiques et l'utilisation de systèmes de contrôle sensible devraient être nécessaires en tant qu'indicateur des réparations nécessaires. Une installation et un entretient correct sont essentiels pour un fonctionnement propre et efficace et pour une réduction des émissions de CO.

4.4 SYSTEMES DE CONTROLE PAR BRULEUR AUTOMATIQUE

Des variations dans la charge des systèmes de combustion peuvent ne pas provoquer des réponses suffisamment rapides depuis les conducteurs dans les systèmes fonctionnent manuellement; donc, un contrôle automatique du rapport carburant-air offre généralem ıt une plus grande efficacité, des émissions plus basses de CO, et un coût du fonctionnement plus bas qu'avec le contrôle manuel. Plus la variation de la charge est importante (ou plus l'installation est complexe et grosse), plus il est facile de justifier le choix de contrôles complexes et compréhensives qui limitent la consommation du carburant, qui suivent les demandes en charge sans décalage, et qui augmentent la sécurité et réduisent la pollution de l'air ambiant.

En excluant le choix et l'utilisation efficace de carburant, le facteur le plus important à considérer pour la diminution du CO des sources fixes est le choix du type de système de contrôle. Les systèmes de contrôle sont de trois types généraux:

1. Le système de contrôle "on-off"(allumé-éteint) est le plus simple mais le moins efficace pour maintenir un rapport carburant-air bien équilibré. Un signal de pression depuis un collecteur à vapeur ou un tambour d'une chaudière régularise le flot carburant-air; c'est à dire, les variations de vapeur entre les limites établies qui signalent aux brûleurs ou de s'allumer ou de s'éteindre parce que la chaudière est continuellement chauffée ou refroidie, une température égale n'y est pas maintenue; la combustion complète du carburant est achevée seulement

pendant une partie du cycle, et les quantités d'air en excès et les émissions de CO sont élevées. Une type de contrôle simple est utilisé sur des petites chaudières à tube foyer et sur des radiateurs, etc. pour minimiser les investissements.

2. Le système de contrôle par position peut maintenir un rapport carburant-air acceptable dans l'échelle de fonctionnement des charges légèrement fluctuantes. Comme le contrôle "on-off" (allumé-éteint), les variations de pression de la chaudière dans ce système signalent le besoin de vérifier les registres de tirages et les soupapes et d'ajuster l'alimentation en rapport air-carburant à la demande. Ce type de contrôle est le plus commun sur les chaudières d'un seul bloc et de taille moyenne.

3. Le système de mesure, le plus élaboré des contrôles, maintient le meilleur rapport continu carburant-air dans l'échelle de fonctionnement parche qu'il prévoit la charge. Il mesure le flot de vapeur et de pression, le flot de carburant et le courant d'air; il compare les demandes en vapeur avec la consommation en eau d'alimentation pour déterminer la vitesse correcte de chauffe; et il répond rapidement grâce à son système de contrôle rétroactif. Ce système est utilisé presque exclusivement sur des chaudières utilitaires.

Bien que le système "on-off" soit le plus simple de ces trois types, il offre la plus petite quantité de contrôle sur le rapport carburant-air; plus compliqué est le système de contrôle par position qui varie le rapport dans l'échelle des charges pour obtenir une vitesse de combustion plus efficace. Ceci est le système de mesure le plus sensible à la variation de la charge, et il contrôle le rapport sur des charges constantes et fluctuantes.

4.5 LES BRULEURS DE POST-COMBUSTION

Les brûleurs de post-combustion pour le contrôle du CO sont le plus souvent

utilisés dans des cubillots à fer qui, sans système de contrôle effluent, émettent du CO, de la poussière et des fumées directement dans l'atmosphère. Les cubillots avec systèmes de récupération de particules éfficaces ont des brûleurs de post-combustion pour brûler les particules (par exemple, les brises de coke, le brouillard et les vapeurs de pétrole) à partir des déchêts huileux en charge et pour brûler du CO en éliminant la manipulation de mélanges de gaz explosifs.

Alors qu'un brûleur de post-combustion peut être installé comme unité séparée, la pratique commune est d'utiliser la partie la plus haute du cubillot du dessus de la porte de chargement en tant que brûleur de post-combustion. Quand cela est fait, la hauteur du cubillot conventionnel doit être augmentée à fin de donner assez de temps de rétention pour terminer la combustion du brûleur de post-combustion.

Le cubillot à soufflage équilibré diffère du cubillot conventionnel; il a trois ou plus rangées de tuyères qui admettent de l'air à plusieurs niveaux, au lieu d'à un ou deux niveaux, et il est alimenté d'air préchauffé plutôt que d'air ambiant froid.[6] Des tuyères ajustées individuelles portent le CO au maximum dans la base du cubillot et minimise le CO dans la zône de préchauffage. L'air alimenté est préchauffé à environ 810 K avant qu'il ne soit admis dans les tuyères et qu'il n'augmente la consommation de chaleur dans le cubillot, diminue la quantité de coke demandé pour la fusion, diminue la quantité des produits de combustion et tend à diminuer les émissions de CO dans le gaz d'échappement qui viennent de la zone de préchauffage. Une fusion et une réduction uniforme des amas en pont peuvent être obtenues et le gel près d'une tuyère peut être prévenu par l'arrêt temporaire de l'air dans cette tuyère; ces facteurs éliminent aussi la consommation de coke et les émissions de CO.

Un brûleur de post-combustion devrait être prévu pour augmenter la température des combustibles, de l'air inspiré, et des gaz de cubillot d'au moins 920 K.[7] Il devrait créer aussi assez de turbulence dans le flot de gaz pour un mélange complet des combustibles et de l'air inspiré au travers de la porte de chargement vers la zône préchauffée. La géométrie de la zône de combustion devrait procurer

un temps de rétention de au moins un quart de seconde. Un dispositif prouvé efficace pour provoquer le mélange dans des cubillots de diamètre large est un cône inversé. (Fig. 4-1).[8]

D'autres caractéristiques nécessaires d'un plan d'un brûleur de post-combustion sont:

1. Une flamme régulière qui n'est ni éteinte ni affectée par la charge du cubillot, et qui se réallume automatiquement.
2. Un système de modulation automatique des brûleurs principaux qui est contrôlé par un couple thermoélectrique dans la cheminée et qui étient la flamme du brûleur principal, mais non la flamme-pilote, si les gaz du cubillot ont suffisament de CO pour affecter le contrôle de la température.
3. Pas d'interférence avec le système de charge du cubillot et le procéssus de fusion.

Ces caractéristiques sont illustrées dans les Figures 4-2 et 4-3. Un système de contrôle de cubillot employé en BRD est montré dans la Figure 4-4.

Une application récente des brûleurs de post-combustion a été faite lors de l'élimination de l'oxyde de carbone (CO) depuis les gaz d'échappement dus à la combustion de déchêts de plastique. L'incinération de tels déchêts produits d'autres polluants pour lesquels d'autres méthodes de contrôle doivent être prodiguées, mais une combustion secondaire élimine à la fois l'oxyde de carbone et la suie.[9]

4.6 LES CHAUDIERES A RECUPERATION DE CHALEUR PERDUE

La chaudière à CO à récupération de chaleur perdue est prédominante dans l'industrie du pétrole; elle utilise la chaleur de combustion de CO et la chaleur sensible de la régénération des gaz à partir du cracking catalytique pour regagner ses valeurs de chauffe. Le CO et les autres combustibles (principalement les hydrocarbures) sont oxydés en gaz carbonique et eau et de ce fait, éliminés comme polluants atmosphériques.

Les chaudières ne possèdent pas de chambre à oxydation par catalysateur

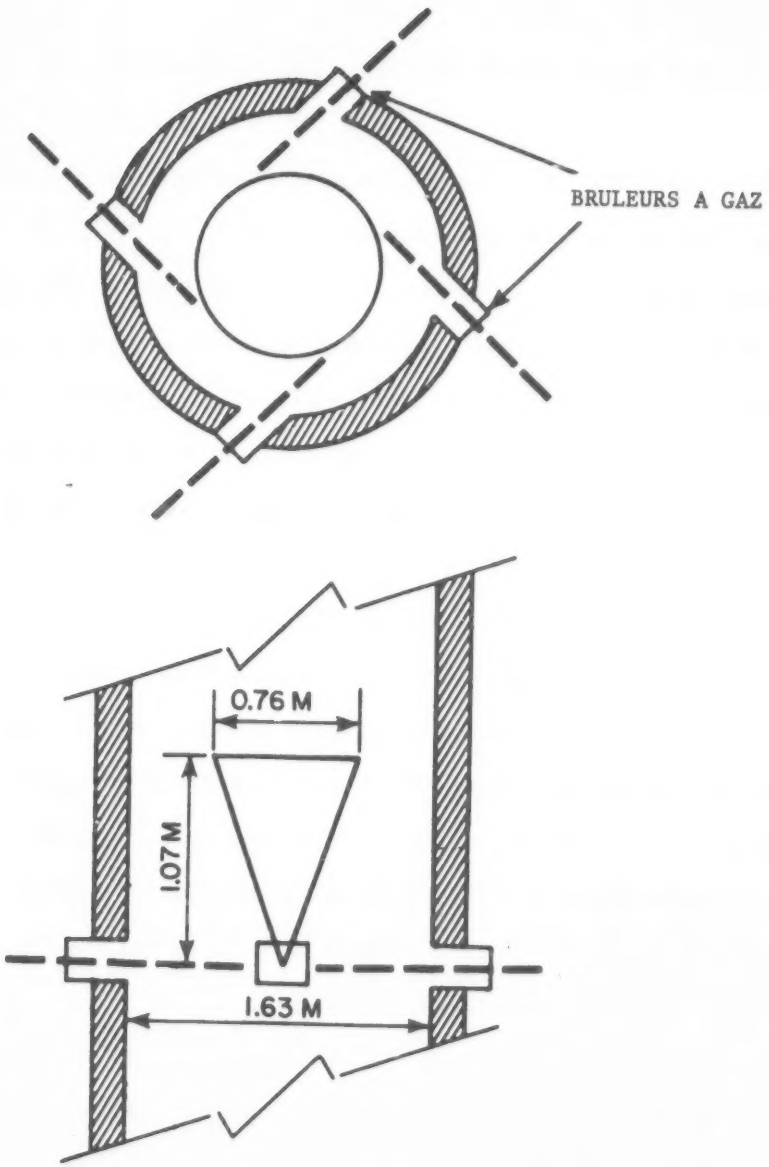


Figure 4.1 Brûleur de post-combustion intégral avec cône inversé installé au sommet du cubillot pour créer une turbulence et assurer une combustion complète.

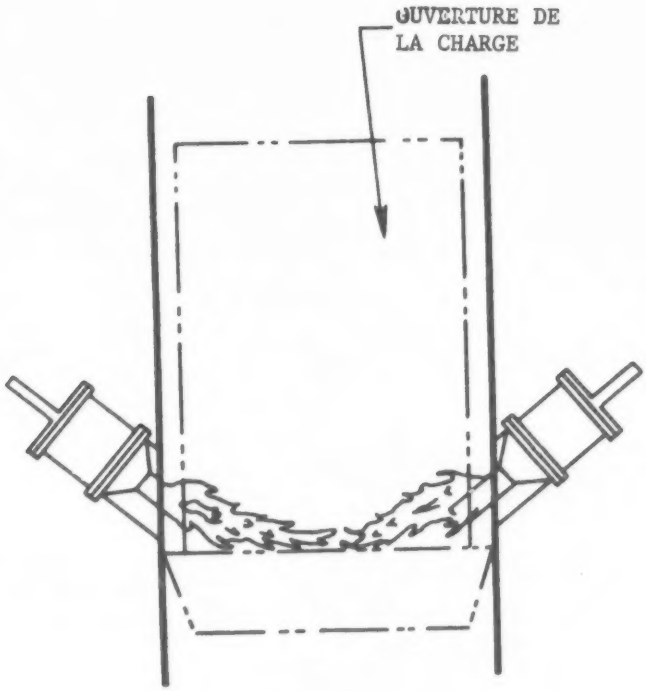


Fig. 4-2. Schéma d'un brûleur de post-combustion avec un système montrant la flamme introduite à l'endroit le plus favorable pour allumer les gaz du cubillot.

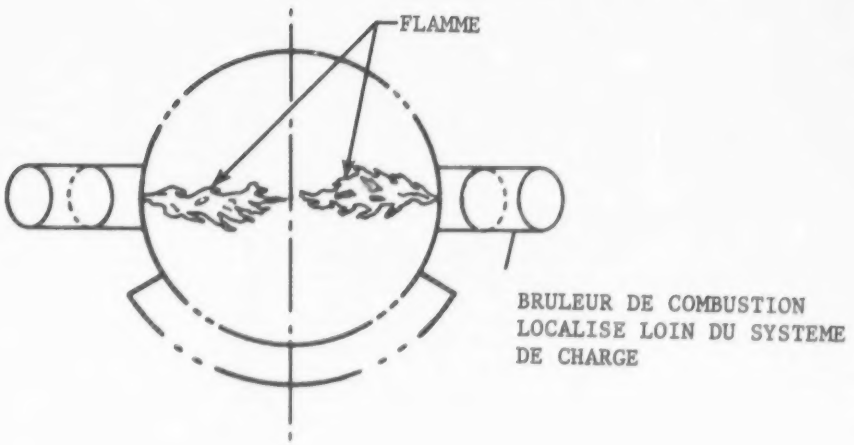
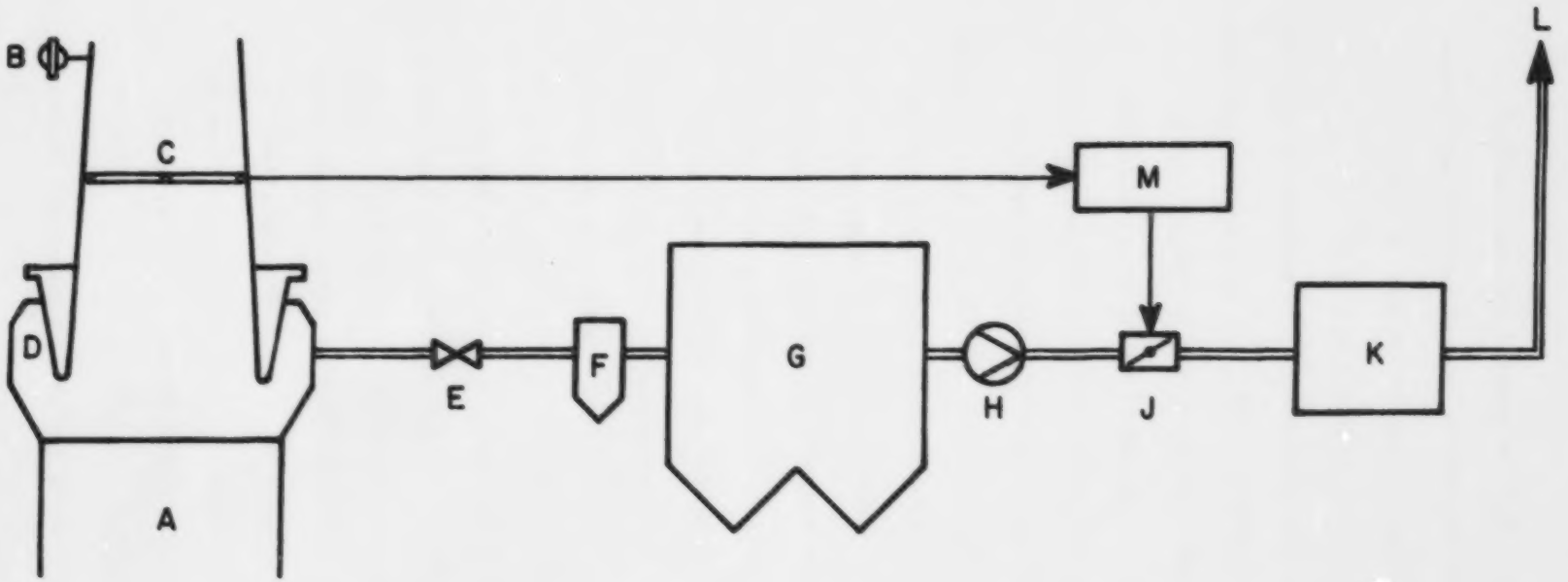


Fig. 4-3. Schéma d'une flamme dans un système à brûleur de post-combustion qui n'est ni éteint ni affecté par la charge du cubillot.



A Four de cubillot
B Indicateur de niveau
C Sonde de pression
D Chambre de gaz d'échappement
E Valve à obturateur
F Régulisateur
G Filtre
H Ventilateur
J Registre de tirage
K Collecteur
L Cheminée
M Elément de contrôle

Fig. 4-4. Système de récupération de la poussière des gaz de sortie

pour la conversion du CO en gaz carbonique. Dans la plupart des cas, le carburant supplémentaire (huile lourde, gaz de raffinerie, ou gaz naturel) est nécessaire à une température de 1 250 K à un minimum de gaz de combustion à CO pour obtenir un fonctionnement stable dans la première section du four.[10]

La chaudière à CO peut être verticale avec une section transversale ou rectangulaire ou circulaire de murs refroidis à l'eau (Fig. 4-5). Les dimensions extérieures d'une chaudière caractéristique rectangulaire sont de 9,75 m de large, 13,4 m de profondeur et 19,5 m de haut, avec une haute cheminée de 60,9m.[11] La chaudière est équipé d'un ventilateur à tirage forcé de quatre séries de brûleurs fixes et tangents (une série pour chaque coin). Une série caractéristique de brûleurs inclut deux compartiments à CO, quatre tuyères à gaz de chauffage, et deux brûleurs à pétrole à vapeur atomisée (Fig. 4-6). Les brûleurs sont approximativement de 0,46 m de large sur 1,83 m de haut; ils sont placés légèrement hors du centre pour exécuter la mélange tangentielle des gaz pour une combustion plus complète.

Les gaz régénérés à partir de l'unité de cracking catalytique par fluidisation (CCF) sont normallement libérés à l'entrée du conduit de fonctionnement de la chaudière à une température d'environ 860 K et à une pression de 13,7 kN/m^2 (manomètre étalon). Chaque fois que les gaz récupérés passent au travers d'un dépoussiéreur électrique , le gaz d'entrée dans le dépoussiéreur doit être refroidi en dessous de 530 K. La chaudière à CO reçoit des gaz brûlés récupérés entre 500 K et 530 K. Une addition de chaleur doit être amenée à partir du moment où, pour enflammer le CO, le mélange air-CO doit être à moins de 920 K.

Après l'allumage, le CO doit être alimenté à une vitesse graduellement ascendante au travers d'orifices bien répartis dans le flot des gaz de combustion les plus chauds (sans aucun effet de refroidissement majeur) pour que la température soit suffisament haute dans la chambre de combustion pour convertir le CO en CO_2 avec un minimum de carburant auxilliaire.

Pour consumer complètement la contenance en CO des gaz d'échappement durant

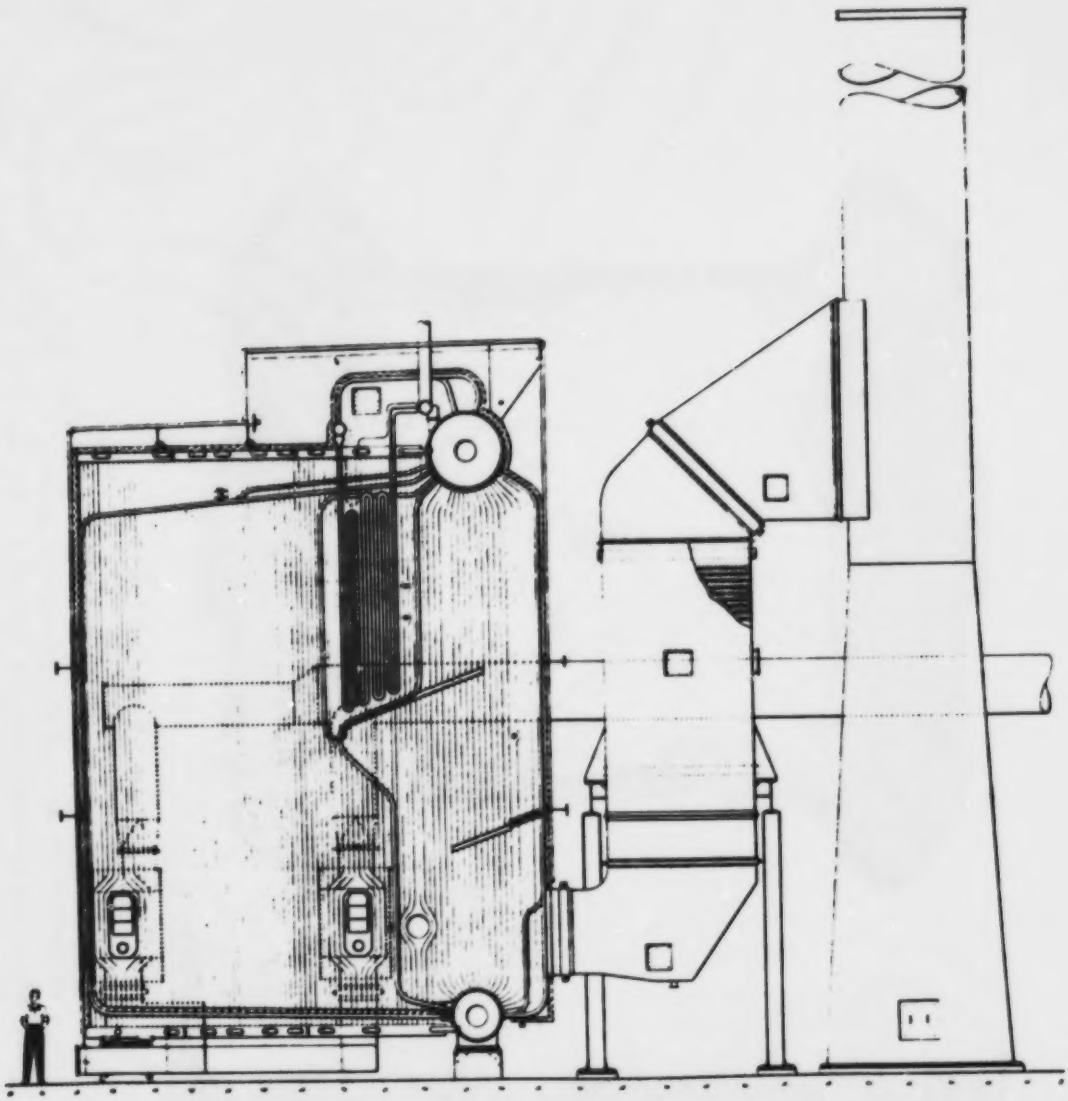


Fig. 4-5. Chaudière à CO à récupération de chaleur perdue refroidie par de l'eau.

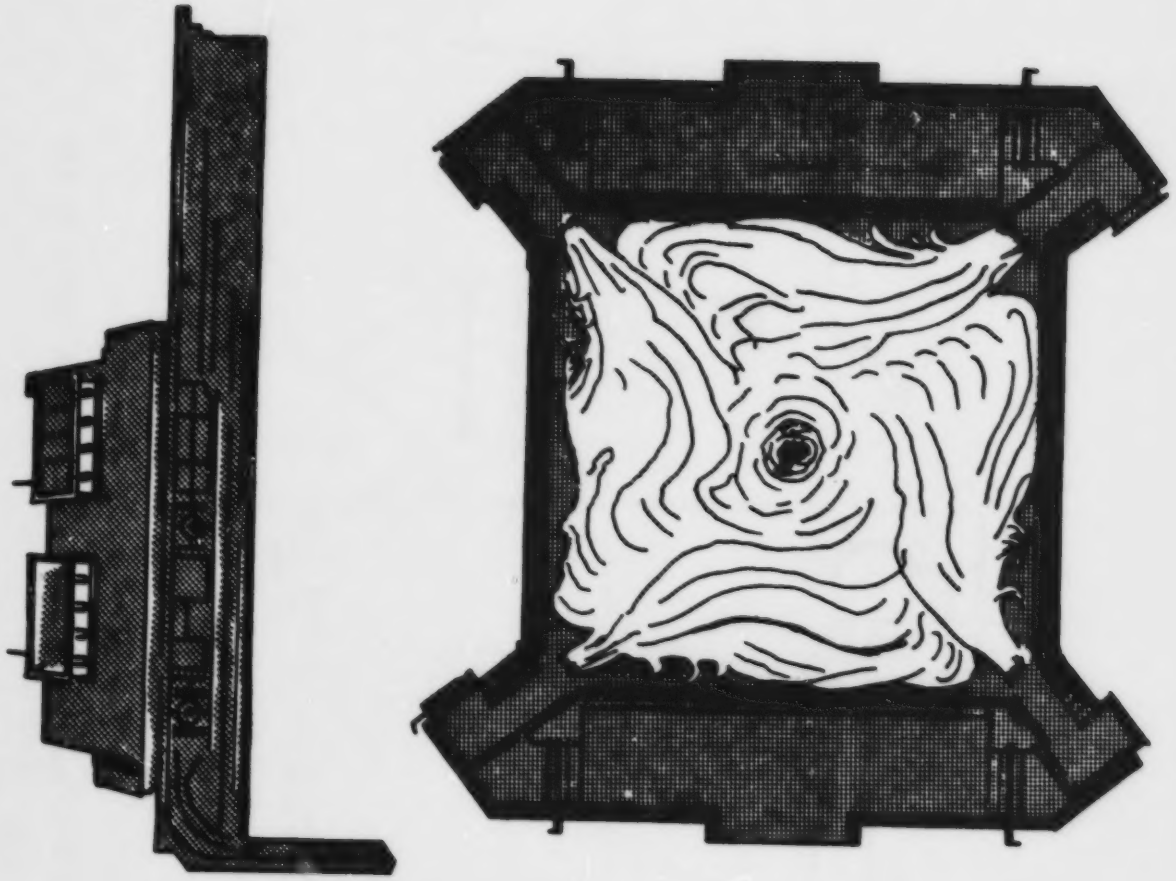


Figure 4-6. Les brûleurs allumés sur les côtes d'une chaudière à CO à récupération de chaleur perdue (à gauche), vue élevée montrant un série caractéristique des brûleurs pour un coin; (à droite), vue du plan de la chambre à feu montrant la localisation des quatre séries de brûleurs.

les fluctuations de l'opération de chargement, des températures de 1 250 K sont nécessaires. Néanmoins, une combustion efficace de CO et un allumage stable avec un minimum de carburant auxilliaire peuvent être effectués de 1 000 à 1 140 K dans des chambres à combustions chaudes avec réfractoires si le plan de la chambre contribue au bon mélange du carburant auxilliaire et du gaz, et si la taille de celle-si fournie un temps adéquat de résidence. Dans un plan idéal, l'allumage est soutenu par une énergie de chaleur radiante emmagasinée dans l'installation réfractoire, plutôt que par mélange direct avec les gaz chauds produits au niveau des brûleurs auxilliaires. Un maximum de contact entre les murs réfractoires chauds et les gaz de chauffage accélère la vitesse de combustion et diminue le besoin des brûleurs auxilliaires. Avec des murs réfractaires suffisament chauds, le CO brûle stablement même si les brûleurs auxilliaires sont hors de service. Quand un réservoir de chaleur (particulièrement une surface relativement froide) rentre en contact avec la chambre de combustion, l'efficacité de la réaction baine beaucoup et des émissions de CO apparaissent. Des installations à basse capacité de chaleur caractéristiques des briques réfractaires et des volumes de combustion qui sont entourés de froid et par conséquent sont des surfaces qui absorbent de la chaleur ne sont pas désirables; par contre, les surfaces réfractaires fermées contenant un maximum de chaleur emmagasinée sont désirables--celles-ci préviennent la perte de l'allumage et une détonation pulsatoire.

4.7 LE SCELLEMENT MECANIQUE

Les reservoirs à pression, les échangeurs de chaleur et les tuyaux sont habituellement protegés contre un excès de pression par un code spécifié de sécurité (ou de déliverance de pression) des soupapes et de rupture de disques.[12,13] Des réservoirs individuels, des échangeurs de chaleur et même des sections de tuyaux qui peuvent être bouchés ont besoin de soupapes de sécurité.

La soupape de sécurité à resort s'ouvre pour libérer de la pression dans le système et alors se referme d'elle même. Le disque, un diaphragme fin de métal

fait d'aluminium résistant à la corrosion, de platine, ou d'un des nombreux alliages est installé entre les rebords et les ruptures avec une certaine différence de pression sur les deux côtés. (Normallement, la pression extérieur est atmosphérique).

Parce que les émissions ne causeraient non seulement pas des pertes de matière brute et de CO et d'hydrogène, mais aussi constitueraient un risque de toxicité et de feu, l'industrie chemique a adapté une raffinerie et des techniques d'utilisation du pétrole succeptibles d'être appliquées à l'appareil pour ses propres besoins spéciaux. Les résultats de ces adaptations consistent en des installations à procédé automatiquement contrôlé et continu, ayant comme caractéristique des tuyaux sans soudures et des réservoirs à pression soudés assemblés et testés strictement selon les codes.[14,15] Le vieux code pour la tuyauterie (Institut Américain du Code B 31.3 des Standards pour la Tuyauterie des Raffineries de Pétrole)[16,17] (U.S.A. Standards Institute Code B 31.3 for Petroleum Refinery Piping) inclut un système de disposition pour la manipulation des fluides mortels (par exemple, gaz de HCN) et pour les pièces de tuyauterie qui peuvent être mécaniquement endommagées (e.g., verre). Un code long et compliqué (le Code de la Société Americaine des Ingénieurs Mécaniques pour les Réservoirs Non Chauffés, Section VIII) (the American Society of Mechanical Engineers Code for Unfired Pressure Vessels, Section VIII) pour beaucoup de types de réservoirs, incluant les réacteurs, les réservoirs à surtension et les séparateurs, est suivi par approximativement 25% des états; ce code spécifie beaucoup de détails sur le plan et la solidité des matériaux aussi bien que des détails tels que des tests pneumatiques et hydrostatiques, l'inspection des soudures, et la qualité et les tests faits sur les postes de soudures. Des défauts dans les réservoirs sont extrèmement rares quand ils sont utilisés comme prévu en accord avec le code. Dans le cas de gaz de synthèse, l'hydrogène (pas le CO) est difficile à contenir; ainsi, le type d'accès utilisé pour retenir l'hydrogène est spécifié selon les conditions attendues du procédé.[18]

Chaque pièce d'équipement ou partie d'installation pour être protégéé doit être examinée avec soin pour déterminer quelles circonstances peuvent causer le dégagement de gaz, le blocage ou la surpression: (1) une réaction chimique hors de contrôle, (2) un défaut dans le système de refroidissement par eau, (3) l'éclatement d'un tube d'échange (4) le blocage d'un récipient ou d'une canalisation et (5) le feu. Le feu, qui est souvent une condition gouvernante et qui crée le plus de vapeur, est une des circonstances les plus importantes qui a rendu nécessaire la création de la soupape de sécurité et du disque de rupture.

4.8 LES CAPUCHONS PROTECTEURS

Un courant d'oxygène de forte vitesse heurtant la surface du fer fondu dans un four à oxygène basique crée une extrême chaleur et de grosses quantités de fumée d'oxyde de fer. Les fumées sont recueillies par un capuchon protecteur soit ouvert soit fermé; ensuite ils sont épurés par des séparateurs par lavage de haute puissance ou par des dépoussières électrostatiques, et enfin sont emmagasinés jusqu' ce qu'ils soient utilisés en tant que carburant ou matière brute pour la fabrication chimique.

Un schéma d'un système à capuchon fermé destiné à minimiser l'air infiltré est proposé à la Figure 4-7. La Figure 4-8 illustre un système à capuchon ouvert: Les gaz dégagés depuis le four sont brûlés avec un excès d'air et refroidis endessous de la température d'allumage avec des pits d'eau dans un capuchon à chemise d'eau et dans une chambre d'extinction; quand le courant de gaz passe le jet de coulée (agissant comme une coulée), de grosses particules tombent dans un isolateur d'étincelles et alors dans un appareil de décantation; quand le courant passe le carneau reliant la chambre de pulvérisation au gaz d'entrée, le gaz est refroidi, le flot de gaz décroit et de grosses particules tombent dans la chambre d'expansion avant que le gaz n'ait pènétré le dépoussiéreur pour une épuration finale.

Les capuchons doivent être refroidis à l'eau parce que des revêtements

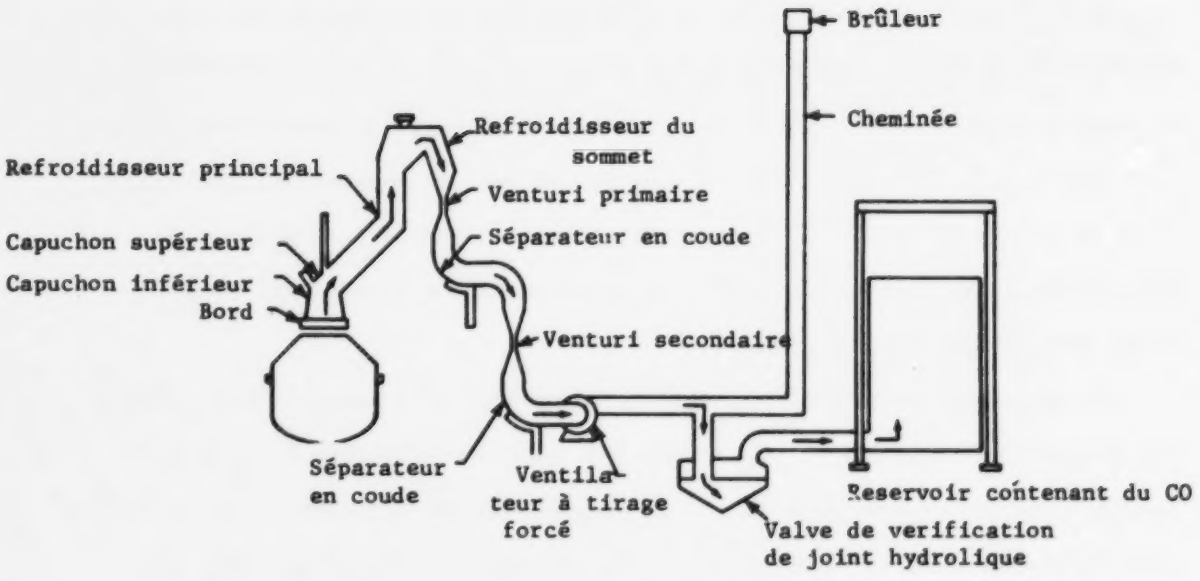


Fig. 4-7. Four à oxygène basique avec capuchon protecteur fermé et système d'épuration de gaz et d'emmagasinement.

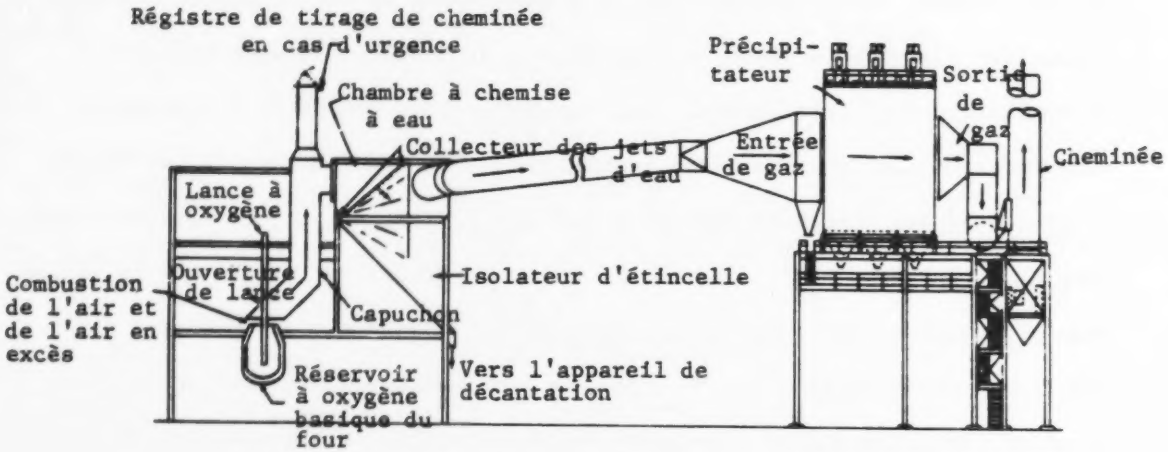


Fig. 4-8. Four à oxygène basique avec capuchon protecteur ouvert et système d'épuration des gaz.

réfractaires satisfaisants n'ont pas été crées.[19] Les capuchons refroidis à panneaux parallèles fonctionnent à basses pressions et à taux de flot élevé et l'eau froide prévient les dépôts de tartre. Les capuchons à eau chaude de forme tubulaire utilisent de l'eau à haute pression et des différentielles de température à eau haute. Les capuchons créant de la vapeur (Fig. 4-9) prévus pour tirer profite de la chaleur latente de vaporisation sont construits avec des panneaux muraux à membrane tubulaire.[19]

Pour la sécurité, le capuchon ouvert admet habituellement plus d'air qu'il n'est nécessaire pour brûler complètement le CO dans le capuchon; ainsi, le volume effluent est de 25 fois le volume d'oxygène utilisé et la longeur du capuchon doit être suffisante pour assurer la combustion complète du CO avant que le gaz ne soit refroidi dans la chambre d'extinction.

Un capuchon à eau froide demande de grosses quantités d'eau, et si l'eau est recirculée, le système demande de grosses tours de refroidissement à eau. Sinon, les capuchons à refroidissement à eau sont habituellement meilleur marché en frais d'installation. Les capuchons à eau froide et à eau chaude demandent tout deux une chaudière à alimentation en eau traitée. L'eau chaude produite par les capuchons peut être utilisée en tant que sources pour d'autres usages ou peut être recirculée au travers d'une tour à refroidissement à eau ou dans un échangeur de chaleur d'un certain type. La vapeur est produite dans des cycles et la demande la concernant ne doit pas coïncider avec les cycles; c'est pourquoi des accumulateurs sont nécessaires pour emmagasiner et pour récupérer la vapeur saturée. S'il n'y a pas de demande de vapeur saturée, des super-radiateurs et des condensateurs à air froid peuvent être installés après les accumulateurs.

4.9 LES TORCHERES

Après que le système de recueillement de vapeur ait reçu du gaz et de la liquide depuis le côte de décharge des soupapes de sécurité et des disques de rupture, un tambour d'éjection sépare la liquide de flot de gaz; et la torchère,

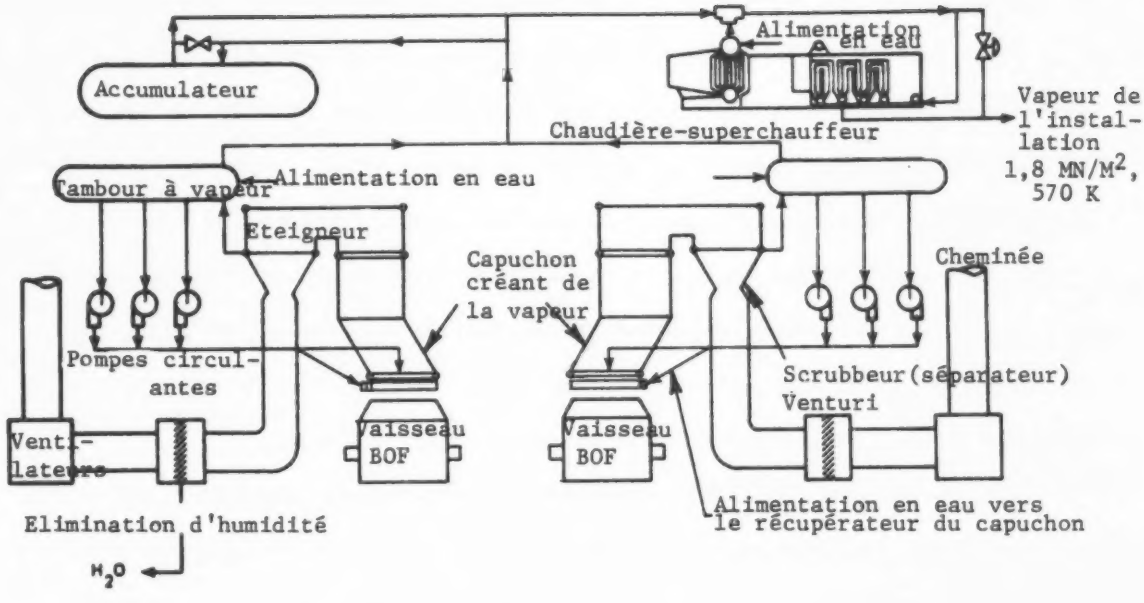


Figure 4.9. Système à capuchon ouvert avec capuchons produisant de vapeur.

qui est communément une cheminée élevée avec un brûleur principal, allume le gaz. Une petite déviation prend soin du flot normal du gaz et un joint hydraulique s'accomode des flots importants en cas d'urgence. Des creusets à joint hydraulique ont été utilisés dans les installations de "reforming" pour limiter la pression et libérer les accumulations de gaz soudaines.

La Figure 4-10 illustre un système de recueillement des vapeurs et une torchère utilisée dans une installation ou un complexe chimique. Le collecteur recueille les gaz de mise au feu et de dégagement, et les décharge dans au moins un séparateur à tambour,[20] à partir duquel les rébuts liquides sont pompés pour être détruits. Le collecteur peut être purgé avec du gaz pendant la mise en marche parce que la chaudière est allumée par une flamme principale. Un arrêteur de flamme (monté à la base de la cheminée de la torchère) et un gaz inerte purgé (par exemple, l'azote) premunisent le système contre le retour de flamme.

Si la rapidité d'un gaz de la torchère est trop élevé, la flamme peut être éteinte. L'extinction et ses conséquences libérant du CO sont éliminés par un dessein en dedans de certaines vitesses de cheminée. (Si l'extinction se produit, le réallumage est effectué par le brûleur principal).

Dans la construction d'une torchère, la sécurité est importante.[21] Parce que une grosse torchère peut produire d'énormes quantités de chaleur, elle peut devoir être élevée de 61 m ou plus par rapport aux bâtiments et au personnel. La sécurité peut aussi être augmentée par une purge ayant une certaine vitesse de telle façon que la concentration en oxygène à 7,6 m du sommet de la cheminée corresponde à moins de 6 pour cent.[22] La composition du gaz de purge dépend de comment le gaz de synthèse originel était utilisé. Il peut contenir une grosse quantité de CO. Un fabricant rapporte que le gaz de purge est envoyé depuis la synthèse du méthanol vers les réformeurs qui peuvent créer du gaz ammoniaque de synthèse. Il peut être brûlé dans une torchère--une flamme maintenue à l'extérieur à la fin du système de recueillement des gaz brûlés pour brûler à la fois les restes de vapeurs diverses et libérer la vapeur en cas d'urgence.

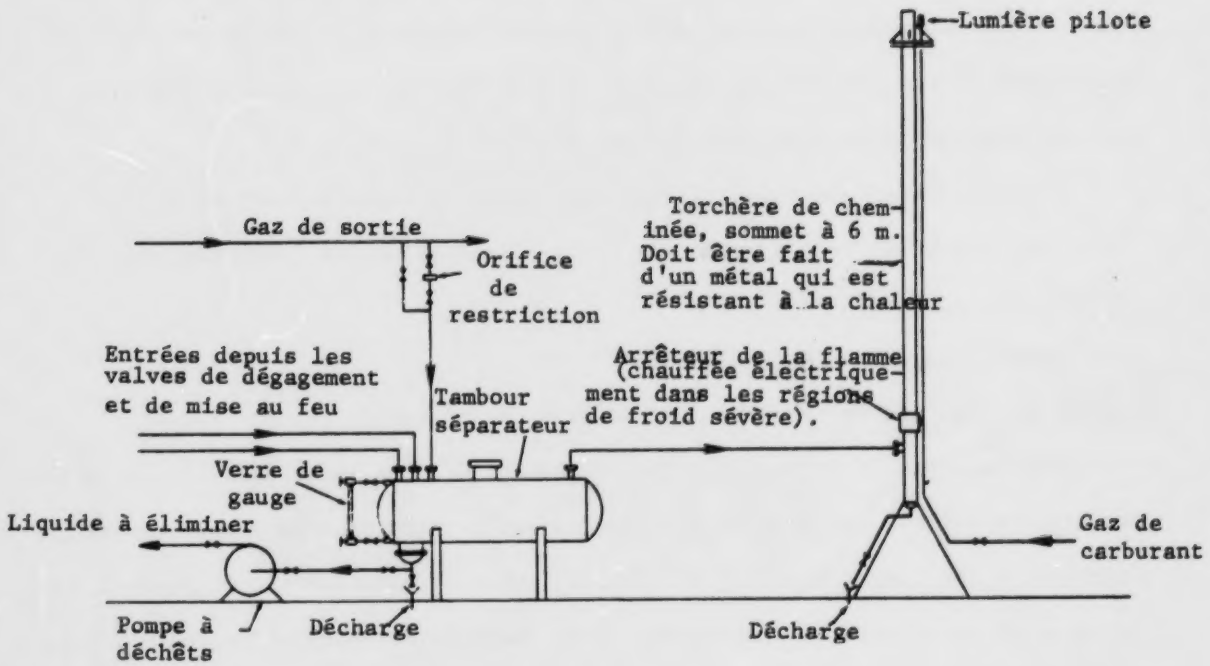


Figure 4.10. Système de recueillement par mise au feu et dégagement.

Néanmoins, la purge est honéreuse, des scellements moléculaires[23] sont communément nécessaires pour réduire la demande en gaz de purge et les émissions atmosphériques.

Au Royaume Unis, deux installations qui fabriquent du noir de fumée à partir de fourneau utilisent une torchère sur la cheminée pour brûler et contrôler le CO avec succès.[24] L'incinération catalytique n'est pas pratique pour des concentrations de CO qui varient de 5 à 10 pour cent parce que les températures de fonctionnement excèdent 810 K, bien au dessus de la variation pour les catalyseurs.[25] Le procédé qui fabrique le noir de fumée à partir de fourneau doit de temps en temps être contrôlé aux Etats Unis.

L'injection de vapeur peut fréquemment oxyder l'oxyde de carbone en gaz carbonique quand ils sont ajoutés aux gaz d'alimentation des torchères dans les raffineries de pétrole.[26]

4.10 TECHNIQUES DE CONTROLE DIVERSES

4.10.1 Elimination des Déchets avec ou sans Incinération

Pour le contrôle de la pollution atmosphérique, les techniques d'élimination des déchets solides les plus satisfaisantes sont celles sans incinération. Le remplissage des terres à partir de déchets épurés est une bonne technique si la terre et le matériel de remplissage sont disponibles--c'est-dire, qu'approximativement 1 480 m^3/1 000 personnes annuellement fournissent une production de déchets de 2,4 kg par jour par chaque personne[27], et que le matériel de couverture est d'approximativement 20 pour cent, par volume, de déchets compacts. Une autre technique est de déchequeter, de mettre en paquets, de charger et d'expédier les déchets par le rail vers des sites d'exploitation abandonnés qui doivent être remplis.[28] Une troisième technique, l'utilisation en tant que composte, est en train d'être testé sur le plan pratique[29] pour l'élimination des ordures. Les plonges à la mer, comme le pratiquaient des villes cotéries, a été interdit par le Gouvernement Américain parce que les ordures reflottaient

vers la rive; néanmoins, les déchets qui ont été broyés et compressés en forme de bales, emballés dans du fil de fer et recouverts d'asphalt et qui sont plongés loin dans la mer restent, selon des rapports, intacts de la fond de la mer. Le fait de broyer les ordures dans des éléments de cuisine et de les projetter dans les égouts augment la charge des installations qui éliminent les eaux des égouts et la quantité de la boue des égouts.

D'autres alternatives à l'incinération sont l'abandon et l'enterrement dans un site, le transfert et l'élimination dans des zônes éloignées,et l'utilisation des déchets en tant que matériaux. Attendu que cette végétation abandonnée et enterrée peut avoir des effets indésirables ou nuisibles (par exemple, héberger des insectes ou des organismes, produire des odeurs, polluer l'eau ou créer des risques d'incendie), le Département Américain de l'Agriculture et de l'Etat, et les agences agricoles locales doivent être consultées au sujet de ces techniques Le transport et l'élimination vers des zônes où les effets néfastes sont éliminés ne sont pas communément pratiqués. Les déchets importants des forêts produits par le burinage et le concassage peuvent être utilisés en tant que matière brute pour les moulins de pâte à papier ou pour les procédés produisant du bois de construction, des agglomerés au charbon de bois, et de bois de chauffage synthétique;[30] le compostage et l'alimentation des animaux sont d'autres utilisations possibles.

L'incinération à haute température avec excès d'air est la deuxième meilleure manière de réduire les émissions de CO. Une température de plus de 1 140 K, plus de 150 pour cent d'air en excès, et moins de 5,3 kJ/s de chaleur dégagée pour chaque pied cube (cubic foot) d'espace de combustion sont utilisés parfois comme paramètres pour des incinérateurs. Sous ces conditions, les taux des émissions de CO sont de moins de 0,5 kg/1 000 de matière incinérée [31] (les facteurs d'émissions estimés pour des types d'incinérateurs sont donnés dans le Chapitre 5). Bien que l'insuffisance de l'air, l'espace de combustion, et le

mélange augmentent les taux d'émissions de CO, la cause la plus commune est une basse température d'incinération.

Des brûleurs auxilliaires augmentent la température d'incinération de 1 140 à 1 250 K. Au dessus de 1 250 K, l'entartrage des produits refractaires est souvent un problème. Même pour des déchets de combustibles secs qui brûlent au dessus de 1 140 K, des brûleurs auxilliaires sont utilisés pour préchauffer les zônes de combustion secondaire de l'incinérateur avant que les déchets ne soient allumés. Des contrôles de température "on-off" (allumé-éteint) pour de petits unités et des contrôles par modulation pour de gros incinérateurs provoquent une réduction consistante d'émission.

L'air peut être fourni par tirage naturel ou mécanique. Les dimensions des cheminées, les dimensions des amortisseurs barométriques, et les capacités de ventialaturs à tirage provoqué pour des différents incinérateurs, les flots d'air et les déchets sont recommendés par l'Institut de l'Incinérateur d'Amérique (Incinerator Institute of America)[32]. Pour le contrôle le plus effectif, l'air est passé au travers des grilles (air sous le feu), admis au dessus des déchets brûlants (air au dessus du feu), et admis dans des chambres où des brûleurs auxilliaires sont localisés (air secondaire); le rapport de ces alimentations en air varie en fonction du plan de l'incinérateur. Pour de petits incinérateurs ,l'air de combustion est réglé par ajustement manuel des orifices aux différents points d'entrée; pour de gros incinérateurs, l'admission en air et, de temps en temps, le rapport entre l'alimentation en air à points divers est automatiquement contrôlé. Pour 150 pour cent d'air en excès, la contenance en oxygène des gaz non dilués à la sortie de l'incinérateur varie de 12 à 14 pour cent, dépendant du type de déchets et du type de carburant auxilliaire.

Un temps de résidence suffisant pour l'oxydation des combustibles est prouvé par l'isolation de la zône de combustion. Un maximum de dégagement de chaleur de 5,3 kJ/s par pied cube (cubic foot) est quelquefois utilisé pour

déterminer l'espace de combustion requis. Le contact entre les combustibles gazeux et l'air est provoqué par la présence de chicones, de murs en pont, d'empilage, de murs de revêtement, de voûtes, de chambres de mélange, par introduction de l'air à des endroits stratégiques, et par localisation des brûleurs auxilliaires pour provoquer le mélange.

4.10.2 Prévention ou Extinction des Incendies

Depuis les incendies sauvages des forêts, environ 4,26 Gkg de CO sont émis annuellement.[33] Ces incendies sont souvent produits par des éclairs ou par négligence. Une activité considérable a été et est actuellement dirigé vers une réduction de la fréquence et de la sévérité de ces incendies. Ces activités incluent des informations sous forme de publication et de publicité sur la prévention et contrôle des incendies, la surveillance des régions forestières où ces incendies se produisent le plus, et également incluent le combat du feu et les techniques de contrôle. L'information sur la prévention et le contrôle est disponible au Département Américain de l'Interieur, et depuis les agences locales de celles des états.

La combustion contrôlée des décombres de forêts tels que résidus de récolte, brouissailles, brindilles, mauvaises herbes et autres végétations est appliquée pour un ou plusieurs des buts suivants: (1) pour contrôler la végétation, les insectes ou les organismes nuisibles à l'implantation de la vie, (2) pour réduire le volume des déchets, (3) pour minimiser les risques d'incendie, ou (4) pour s'amender la terre. Les émissions de CO à partir de cette combustion est d'environ 9,7 Gkg/an; le recueillement et la combustion de ces déchets dans des incinérateurs convenablement contrôlés réduiraient les taux d'émission d'environ 30 à 32,5 kg/1 000 kg à aussi peu que 0,5 kg/1 000 kg.[33]

Une quantité de CO estimé à 1,1 Gkg est émis chaque année par la combustion de 530 x 10^6 m^3 de déchets de charbon.[33] Soit la prévention, soit l'extinction de tels incendies peuvent être utilisés pour réduire ou éliminer les émissions. Le refroidissement, le rempilement, le scellement avec des matériaux imperméables,

l'injection de schlamms non-combustibles, la diminution de la quantité de combustibles et la prévention de l'allumage sont décrits et discutés dans AP-52, Techniques de Contrôle des Polluants d'Air d'Oxydes de Souffre (Control Techniques for Sulfur Oxide Air Pollutants)[34].

Les incendies de structures émettent une quantité estimée à 220 Mkg de CO chaque année.[33] Les techniques de prévention et de contrôle des incendies sont utilisées pour minimiser ces sources coûteuses. La prévention comprend des constructions résistantes au feu; une manipulation correcte; un emmagasinage et un emballage adéquat des matériaux inflammables; et une information sous forme de publication et de publicité. Le contrôle comprend l'utilisation d'extincteurs, de systèmes à mousse et à gaz inerte pour une extinction rapide et une facilitation du combat adéquat du feu, ainsi que l'utilisation de personnel et de systèmes d'allarme. L'information à ce sujet et aux autres techniques de prévention d'incendie et de son contrôle sont disponibles auprès des sapeurs-pompiers locaux ou de l'Association Nationale pour la Protection Contre les Incendies, de l'Assemblie pour la Sécurité Nationale (National Fire Protection Association, National Safety Council), et auprès des compagnies d'assurance contre les incendies.

4.10.3 L'Oxydation Catalytique

L'oxydation catalytique peut effectivement convertir l'oxyde de carbone en gaz carbonique inoffensif. Le cuivre et un composé non identifié de chrome hexavalant imprègné sur un support d'une aire de haute surface peuvent oxyder du CO en CO_2 pourvu que l'oxygène soit présent et que la température soit au moins 320 K. La méthode est valable pour débarasser le CO de l'azote, de l'ammonaique, d'un gaz de synthèse, d'un gaz de carneau, d'un gaz d'échappement de voiture, d'un gaz d'échappement d'un radiateur domestique, de l'hydrogène et d'autres gaz.[35] Un autre catalyseur pour l'oxydation de l'oxyde de carbone contient de l'oxyde de manganèse et de l'oxyde de plomb. Ce catalyseur peut

supporter des températures de 770 K et est approprié pour être appliquer à des automobiles.[36] L'oxydation homogène catalyique de l'oxyde de carbone est également possible à des températures ambientes et avec une solution aqueuse contenant du palladium (II)/cuivre(II).[37]

4.11 REFERENCES

1. "Compilation of Air Pollutant Emission Factors." U.S. Dept. of Health, Education, and Welfare, Office of Air Programs, Research Triangle Park, N.C., AP-52, 1972.

2. Statistical Abstract of the United States: 1970. 91st Edition, U.S. Bureau of the Census, Washington, D.C., 1970.

3. Jahrbuch f. Bergbau Energie Mineralöl und Chemie 1971.

4. W. Brocke, Essen, Vortrag v. 21.11.71.

5. Smith, W. A. et C. W. Gruber. "Atmospheric Emissions from Coal Combustion--An Inventory Guide." U.S. DHEW, PHS, National Air Pollution Control Administration. Cincinnati, Ohio. Publication Number 999-AP-24, Avril,1966, 112 p.

6. "The Cupola and Its Operation." 3d. ed. Des Plaines, American Foundrymen's Society, 1965, 322 p.

7. Danielson, J. A. (ed). "Air Pollution Engineering Manual." USDHEW, PHS, National Center for Air Pollution Control, Cincinnati, Ohio. PHS Publ. No. 999-AP-40, 1967, 892 p.

8. "Foundry Air Pollution Control Manual." 2d ed. Des Plaines, American Foundrymen's Society, 1967, 66 p.

9. Sugishma, Wasaburo and Sumio Okuda. "Plastic Waste Treatment and Incineration." Kankyo Sozo (Environ. Creation) 1(4):57-61, Nov. 1971.

10. Alexander, W. H. et R. L. Bradley. "Can You Justify a CO Boiler?" Petrol. Refiner. 37:107-112, Août, 1958.

11. Danielson, J. A. (ed). "Air Pollution Engineering Manual." USDHEW, PHS, National Center for Air Pollution Control, Cincinnati, Ohio. PHS Publ. No. 999-AP-40, 1967, 892 p.

12. "Fire Protection Manual for Hydrocarbon Processing Plants." Houston, Gulf Publishing Co., Houston, Texas.

13. "Fire Protection Handbook." Boston, National Fire Protection Association, Boston, Mass.

14. Avery, R. E. et H. L. Valentine. "High-Temperature Piping Systems for Petrochemical Processing." Dans: CEP Technical Manual, Vol. 10, Safety in Air and Ammonia Plants. New York, American Institute of Chemical Engineers, 1968, p. 20-24.

15. Kratosios, G., et W. P. Long. "Experiences with Primary Reformer Furnaces and Transfer Lines." Dans: CEP Technical Manual, Vol. 10, Safety in Air and Ammonia Plants. New York, American Institute of Chemical Engineers, 1968, p. 8-15.

16. Wright, L. E. "Piping Codes and Standards." Chem. Eng., 75(13): 247-250, 17 Juin, 1968.

17. American Standards Association. Sectional Committee on Code for Pressure Piping, B31. New York, American Society of Mechanical Engineers.

18. James, G. R. "A Look at High Temperature Reformer Piping." Dans: CEP Technical Manual, Vol. 10, Safety in Air and Ammonia Plants. New York, American Institute of Chemical Engineers, 1968, p. 1-7.

19. Wheeler, D. H. "Fume Control in L-D Plants." J. Air Pollution Contr. Assoc., 18:98-101, Février, 1968.

20. Schieman, A. D. "Horizontal Vapor-Liquid Separators." Hydrocarbon Process and Petrol. Refiner., 43:155-160, Mai, 1964.

21. Kent, G. R. "Find Radiation Effect of Flares. Hydrocarbon Processing. 47:119-130, Juin, 1968.

22. Soen. H. T. "Flare System Design Simplified." Hydrocarbon Processing, 46:172-176, Janvier, 1967.

23. Reed, R. D. "Design and Operation of Flare Systems." Chem. Eng. Progr., 64:53-57, Juin, 1968.

24. Drogin, I. "Carbon Black." J. Air Pollution Control Assoc., 18(4): 216-228, Avril, 1968.

25. Hardison, L. C. "Disposal of Gaseous Wastes." UOP Air Correction Division, Greenwich, Conn. Présenté au Seminar on Waste Disposal sponsored by East Ohio Gas Company, Cleveland, 18 Mai, 1967.

26. Cross, Frank L., Jr. "Air Pollution Control." Preprint, Dept. of Commerce, Washington, D. C., and Water Pollution Control Federation, Washington, D. C., 1971. (Présenté au Technical Conference on New Technology in the Solution of Practical Problems in Air and Water Pollution Control, Tokyo, 7 Déc., 1971.)

27. Kirsh, J. B. "Sanitary Landfill." Dans: Element of Solid Waste Management Training Course Manual, Public Health Service, Cincinnati, Ohio, 1968, p. 1-4.

28. "Air Pollution Problems from Refuse Disposal Operations in the Delaware Valley." Dept. of Public Health, Air Management Services, Philadelphia, Pa., Février, 1969.

29. Wiley, J. S., et al. "Composting Developments in the U.S." Combust. Sci., 6:2, 5-9, Eté 1965.

30. Documentation privée avec E. K. Taylor. Southwest Air Pollution Control Authority, State of Washington, Octobre 1969.

31. Stenburg, R. L. et al. "Effects of High Volatile Fuel on Incinerator Effluents." J. Air Pollution Control Assoc., 8:376-384, Août 1961.

32. IIA Incinerator Standards. New York, Incinerator Institute of America, Novembre 1968.

33. National Air Pollution Control Administration. Reference Book of Nationwide Emissions. U.S. DHEW, PHS, CPEHS, NAPCA, Durham, N.C.

24. Control Techniques for Sulfur Oxide Air Pollutants. US DHEW, PHS, CPEHS, National Air Pollution Control Administration. Washington, D. C., AP-52, Janvier, 1969, p. 87-91.

35. Lutchko, John R. et George R. Stoneburner. "Method of Removing Carbon Monoxide from Gases." Calgon Corp., Pittsburgh, Pa., U.S. Patent 3,545,915, 8 Décembre, 1970.

36. Kobayashi, Shigehiko, Kazuhide Miyazaki, et Michiaki Yamamoto. "Method and Catalyst for the Purification of Waste Gases Containing Carbon Monoxide." Mitsui Mining and Smelting Co., Ltd., Tokyo, W. Ger. Patent 2,034,053, 15 Juillet, 1971.

37. Lloyd, William G. et Donald R. Rowe. "Homogeneous Catalytic Oxidation of Carbon Monoxide." Environ. Sci. Technol., 5(11): 1133-1134, Nov. 1971.

5. LES FACTEURS D'EMISSION POUR LES SOURCES D'OXYDE DE CARBONE.

Un facteur d'émission est une moyenne statistique de taux auquel des matières polluants sont émises depuis la combustion (ou le trâitement) d'une quantité donnée des matériaux. (Les facteurs peuvent être basés sur quelques autres paramètres significatifs, tel que le nombre de kilomètres parcouru dans un véhicule). Pour déterminer chaque facteur, des donnés sérieuses depuis une source ou un groupe de sources sont rassemblées, mises en corrélation avec l'information sur l'utilisation du procédé, et cataloguées. Soit une moyenne, soit une échelle de valeurs sont sélectionnées.

Quelques facteurs d'émission sont basés sur des données limitées; d'autres, sur des données étendues qui sont très variables; et d'autres encore sur des données étendues et compatibles. Ainsi, il est important que la précision des données soit évaluée avant que le facteur ne soit utilisé pour l'estimation des émissions.

En général, les facteurs d'émission pour les polluants de l'air de l'oxyde de carbone ne sont pas des indicateurs précis pour aucun des procédés, même si les détails de ce procédé sont connus. Ils sont plus valables quand ils sont appliqués à un nombre de procédés.

Les facteurs d'émissions énumérés dans le Tableau 5-1 correspondent à des sources non contrôlées, excepté pour ceux qui sont annotés dans le Tableau.

Tableau 5-1. - TAUX D'EMISSIONS D'OXYDE DE CARBONE A PARTIR DE SOURCES NON CONTROLEES[1]

Type de Source d'Emission	Taux d'Emission (g/kg)[1]
Sources Fixes à Combustion de Carburant	
Charbon Bitumineux:	
Fours de plus de 30 MJ/S x 10^6 --type général	0,5
--à base humide	0,5
--à base seche	0,5
--à cyclone	0,5
Fours de (3 à 30 MJ/S)	1,0
Fours de moins de (3MJ/S)	5,0
Unités allumées à la main	45,0
Charbon Anthracite:	
Base seche	0,5
Foyer suralimenté--moins de (3MJ/S)	5,0
--plus de (3MJ/S)	1,0
Unités allumés à la main	45,0
Huile Carburant:	
Centrales g/m^3	4,8
Industriel et commerciel--résiduel g/m^3	24,0
--distillé g/m^3	24,0
Domestique g/m^3	599
Gaz Naturel:	
Centrales kg/hr^3	6,4
Chaudières à procédé industriel kg/hr^3	6,4
Unités de chauffage domestiques et commercielles kg/hr^3	320
Gaz de Pétrole Liquifié (LPG):	
Fours à procédé industriel--butane g/m^3	1,2
--propane g/m^3	1,2
Fours domestiques et commerciaux--butane g/m^3	240
--propane g/m^3	228
Bois et Ecorce	1,0
Elimination des Déchets Solides	
Incinérateurs à Déchets:	
Municipaux--à chambre multiple, incontrôllé	0 à 116
--avec chambre de dépôt et système de pulverisation d'eau	0 à 116
Industriel/commerciel--à chambre multiple	0,5 à 12,5
--à chambre unique	2,0 à 100
--à air controllé	Négatif

Voir note en fin de tableau

TAUX D'EMISSIONS D'OXYDE DE CARBONE A PARTIR DE SOURCES NON CONTROLEES - Suite

Type de Source d'Emission			Taux d'Emission (g/kg)[1]
Alimentation par carneau			10,0
Alimentation par carneau modifiée			5,0
Chambre unique domestique--sans brûleur primaire			150
--avec brûleur primaire			Négatif
Pathologique			Négatif
Incinérateurs à Carroserie d'Automobiles:			
Incontrôlées	kg/voiture	1,13	
Avec brûleur de post-combustion	kg/voiture	Négatif	
Brûleurs Côniques:			
Déchets municipaux			30,0
Bois			65,0
Combustion à Ciel Ouvert:			
Déchets Municipaux			42,5
Pièces d'automobiles			62,5
Déchets horticoles--brûlage de champ agricole			50,0
--déchets de paysage et d'égualage			30,0
Bois			25,0
Sources Mobiles de Combustion			
Véhicules à Moteur à Essence--1970	kg/m^3	324	
--1971	kg/m^3	318	
--1972	kg/m^3	288	
--1973	kg/m^3	270	
--1974	kg/m^3	252	
--1975	kg/m^3	204	
Diesel:			
Camions et Autobus	kg/m^3	27,0	
Locomotives	kg/m^3	8,4	
Avion:			
Turbo-ventilateur--jumbo jet	kg/moteur-LTO	12,7	
--à longue portée	kg/moteur-LTO	11,8	
--à moyenne portée	kg/moteur-LTO	7,3	
Turbojet	kg/moteur-LTO	10,9	
Turbopropulseur	kg/moteur-LTO	,91	
Jet à turbine à arbre d'hélice	kg/moteur-LTO	2,7	
Piston--transport	kg/moteur-LTO	137	
--lèger	kg/moteur-LTO	5,4	

Voir note en fin de tableau

TAUX D'EMISSIONS D'OXYDE DE CARBONE A PARTIR DE SOURCES NON CONTROLEES - Suite

Type de Source d'Emission		Taux d'Emission (g/kg)[1]
Vaisseaux:		
Bateaux à vapeur--en déplacement	g/km	0,49
--sur place	g/jour	36,24
Bateaux à moteur--en déplacement	g/km	294
--sur place	kg/jour	20,9
Industries Employant un Procédé Chimique		
Fabrication d'Ammoniaque:		
Installations avec Méthaneur--gaz de purge		Négatif
--dépôt et chargement		--
Installations avec absorbeur de CO et système de récupération		
--sortie du récupérateur		100
--gaz de purge		Négatif
--dépôt et chargement		--
Fabrication du Noir de Fumée:		
Noir au Tunnel		16750
Noir Thermique		Négatif
Fours--à gaz		2650
--à pétrole		2250
Fabrication du Charbon de Bois:		
Avec installation de récupération chimique		160
Sans installation de récupération chimique		160
Industrie d'Alimentation et d'Agriculture		
Fumage de la Viande:		
Incontrôllé		0,3
Contrôllé		Négatif
Traitement du Sucre de Canne:		
Brulage des champs	g/m^2	168
Bagane		--
Industrie Métallurgique		
Fabrication du Coke:		
Combustion des sous produits--chargement		0,3
--cycle de cokéfaction		0,3
--déchargement		0,035
Fours à rûche		0,5
Production du Fer:		
Charge en minerais des hauts-fourneaux		700 à 1050
Décharge par agglomération par frittage		22

Voir note en fin de tableau

TAUX D'EMISSIONS D'OXYDE DE CARBONE A PARTIR DE SOURCES NON CONTROLEES - Suite

Type de Source d'Emission	Taux d'Emission (g/kg)[1]
Production de l'Acier:	
Fours à oxygène basique	60 à 75
Fours à arc électrique--lance à oxygène	9
--lance sans oxygène	9
Fonderies à Fer Gris--four de cubillot	72,5
Industrie des Produits Minéraux	
Fabrication de l'asphalte de couverture:	
Soufflage d'Asphalte	0,45
Industrie du Pétrole	
Raffineries de Pétrole:	
Chaudières et radiateurs--brûlé par pétrole	Négatif
--brûlé par gaz	Négatif
Unités de cracking catalytique par fluidisation (CCF) kg/m^3 alimentation fraîche	39,1
Unités de cracking catalytique à couche mobile (CCC) kg/m^3 alimentation fraîche	11,5
Moteurs à combustion à compresseur interne--$kg/10^3$ m^3 de gaz brûlé	Négatif
Traitement du Bois	
Formation de la pâte au sulfate:	
Chaudières à récupération et évaporateurs à contact direct --non traitée	30,0
--scrubbeur Venturi	30,0
--précipitateurs électrostatiques	30,0
Fours à chaux--non traités	5,0
--avec scrubbeur	5,0

1 Les unités autres que g/kg sont donnés à la fin des entrés précédant immédiatement les valeurs numériques des taux incontrôlés; quand les taux contrôlés sont connus, ils sont énumérés par tyée de contrôle appliqué.

5.1 REFERENCE

1. Compilation of Air Pollutants Emission Factors. U.S. Dept. of Health, Education, and Welfare, Office of Air Programs, Research Triangle Park, N.C., AP-52, 1972.

*U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE:1974 546-316/270 1-3